فرانك ر. سبيلمان نانسي إ. وايتنغ

علم وتقانة البيئة

المفاهيم والتطبيقات

ترجمة

الصِّديق عمر الصِّديق

سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية والمتقدّمة

مع تحيات د. سلام حسين الهلالي

salamalhelali@yahoo.com

https://www.facebook.com/salam.alhelali

https://www.researchgate.net/profile/Salam_Alhelali?ev=hdr_xprf

07807137614

علم وتقانة البيئة

المفاهيم والتطبيقات

اللجنة العلمية لسلسلة التقنيات الاستراتيجية والمتقدمة :

د. محمد مراياتي

د. منصور الغامدي

د. محمد الشيخلي

د. حسن الشريف

د. عبد الرحمن العريفي

د. حاتم النجدي

المنظمة العربية للترجمة

فرانك ر. سبيلمان   نانسي إ. وايتنغ

علم وتقانة البيئة
المفاهيم والتطبيقات

ترجمة

الصِّدّيق عمر الصِّدّيق

مراجعة

د. محمد عبدالستار الشيخلي

توزيع: **مركز دراسات الوحدة العربية**

الـفـهـرسـة أثـنـاء الـنـشـر ـ إعـداد المنـظـمـة الـعـربـيـة لـلـتـرجـمـة
سبيلمان، فرانك ر.
علم وتقانة البيئة: المفاهيم والتطبيقات/ فرانك ر. سبيلمان ونانسي إ. وايتنغ؛ ترجمة الصِّدّيق عمر الصِّدّيق؛ مراجعة محمد عبد الستار الشيخلي.
ص. ـ (تقنيات استراتيجية ومتقدمة، البيئة 3)
يشتمل على فهرس.
ISBN 978-9953-82-493-2
1. البيئة، علم. 2. التكنولوجيا. أ. العنوان. ب. وايتنغ، نانسي إ. (مؤلف). ج. الصِّدّيق، الصِّدّيق عمر (مترجم). د. الشيخلي، محمد عبد الستار (مراجع). هـ. السلسلة.
628

«الآراء الواردة في هذا الكتاب لا تعبّر بالضرورة
عن اتجاهات تتبناها المنظمة العربية للترجمة»

Spellman, Frank R. and Nancy E. Whiting
Environmental Science and Technology:
Concepts and Applications, Second Edition

© First Published in the United States by Government Institutes by
Covernment Institutes, Lanham, Maryland U.S.A., 2006.
Transleted and Published by Permission. All Rights Reserved.

© **جميع حقوق الترجمة العربية والنشر محفوظة حصراً لـ:**

المنظمة العربية للترجمة

بناية «بيت النهضة»، شارع البصرة، ص. ب: 5996 ـ 113
الحمراء ـ بيروت 2090 1103 ـ لبنان
هاتف: 753031 ـ 753024 (9611) / فاكس: 753032 (9611)
e-mail: info@aot.org.lb - Web Site: http://www.aot.org.lb

توزيع: **مركز دراسات الوحدة العربية**
بناية «بيت النهضة»، شارع البصرة، ص. ب: 6001 ـ 113
الحمراء ـ بيروت 2407 2034 ـ لبنان
تلفون: 750084 ـ 750085 ـ 750086 (9611)
برقياً: «مرعربي» ـ بيروت / فاكس: 750088 (9611)
e-mail: info@caus.org.lb - Web Site: http://www.caus.org.lb

الطبعة الأولى: بيروت، شباط (فبراير) 2012

المحتويات

فاتحة الطبعة الثانية 19

الجزء الأول: مقدمة:
الأساسيات - الطاقة، توازن المواد، ووحدات القياس

الفصل الأول: علم وتقانة البيئة: الصلة 27
مقدمة 30
ما هو علم البيئة؟ 31
المصطلحات 35
العلم وعلم البيئة 39
دراسة حالة 1.1: السلمون ونهر ريتشل 41
علم البيئة والتقانة: الصلة 48
دراسة حالة 2,1: الحمام الرحال، ودجاج هيث، ودجاج أتواتر البري 52
دراسة حالة 3,1: الآميش ومقاطعة لانكستر، بنسلفانيا 59
عندما يرتبط العلم والتقانة بشكل وثيق فإنهما يقدمان الحلول 66
دراسة حالة 4.1: الشركات المتعدّدة الجنسيات والتلوث البيئي 68
الفصل الثاني: علم البيئة: الأساسيات 73
مقدمة 76
الدورات الجيوكيميائية الحيوية 76
دورة الكربون 80
دورة النتروجين 81
دورة الفسفور 83
دورة الكبريت 84
سريان الطاقة عبر النظام البيئي والمحيط الحيوي 85
توازن المواد 86

سريان الطاقة في المحيط الحيوي 89
سريان الطاقة عبر النظام البيئي 90
وحدات القياس 93
وحدات الكتلة 94
وحدات الطول 97
وحدات الحجم 98
وحدات قياس الحرارة 98
وحدات الضغط 100
الوحدات الشائعة في علم البيئة 100
الفصل الثالث: الكيمياء البيئية 107
مقدمة 112
ما هي الكيمياء؟ 113
العناصر و المركبات 114
تصنيف العناصر 115
التغيرات الفيزيائية والكيميائية 116
تركيب الذرة 118
التصنيف الدوري للعناصر 119
الجزئيات والأيونات 120
الترابط الكيميائي 121
الصيغ الكيميائية والمعادلات 123
الأوزان الجزيئية، والصيغ، والمول 123
الخواص الفيزيائية والكيميائية للمادة 124
حالات المادة 126
قوانين الغازات 127
السوائل والمحاليل 127
الخواص الحرارية 128
الحرارة النوعية 129
حمض + قواعدأملاح 130
مقياس الأس الهيدروجيني 131

الكيمياء العضوية 133
المركبات العضوية 135
الهايدروكربونات 136
كيمياء المحيط أو البيئة 137
أساسيات كيمياء الماء 138
الغلاف الجوي للأرض "دورق بلا جدران" 175
كيمياء التربة 208
الفصل الرابع: علم الأحياء البيئي 241
مقدمة 247
علم الأحياء الدقيقة 249
التصنيف 249
الخلية 251
تركيب الخلية 252
البكتريا 254
ما مدى معرفتنا بالبكتريا؟ 256
أشكال، وهيئات، وأحجام، وتنظيمات الخلايا البكترية 257
تراكيب سطح الخلية البكتيرية والمشتملات 258
التكوين الكيميائي 265
الاستقلاب (الأيض) 265
التصنيف 267
الفيروسات 268
العاثي أو لاقم البكتيريا 269
الفطريات 270
التصنيف 272
التعرف إلى الفطريات 272
تزريع الفطريات 275
التكاثر 276
التغذية والاستقلاب 277
الطحالب 278

تعريف المصطلحات 278
الطحالب - وصف 280
الخواص المستخدمة في تصنيف الطحالب 281
الجدار الخلوي للطحالب 282
الكلوروفيل 282
الحركة 283
تغذية الطحالب 284
تكاثر الطحالب 284
خواص انقسام الطحالب 285
الكلوروفيل (الطحالب الخضراء) 285
الأيوجلينات 285
الكريسوفايتا (الطحالب الذهبية البنية) 286
الفايوفايتا (الطحالب البنية) 287
الرودوفايتا (السوطيات الدوارة) 287
دراسة حالة 1.4: الدقائق المنقولة بواسطة الهواء 288
البروتوزوا والكائنات الحية الدقيقة الأخرى 290
دراسه حالة 2.4: عمليات تنشيط المواد الصلبة الحيوية (معالجة مياه
الصرف الصحي) 295
الإنزيمات 303
طبيعة الإنزيمات 305
عمل الإنزيمات 306
فعالية، وتخصص، وتصنيف الإنزيمات 308
أثر البيئة على نشاط الإنزيمات 308
التحولات الاستقلابية (الأيضية) 311
الاستقلاب العام (الأيض) 312
التحلل الجلكوزي 317
دورة كربس 318
نظام نقل الإلكترون 319
استقلاب الكائنات ذاتية التغذية ومتغايرة التغذية 320

تغذية الميكروبات 322
التغذية 323
النمو البكتيري 324
منحنى النمو البكتيري 325
الحرارة 328
الأس الهيدروجيني 331
توفر المياه 333
الأوكسجين 335
الإمراضية 336
العوامل المسببة لانتقال الأمراض 339
دراسة حالة 3.4: حرب الخليج الأولى ومعالجة المياه 343
الطفيليات والممرضات 347
التحكم في المرض 349
دراسة حالة 4.4: فيروس النيل الغربي 349
الفصل الخامس: علم السموم البيئي 355
مقدمة 358
الجرعة - الإستجابة 359
علم السموم البيئي: تطبيقات عملية 363
دراسة حالة 1.5: المؤشر الحيوي 364
الفصل السادس: علم الجيولوجيا البيئية وعلم المياه الجوفية 375
مقدمة 377
ما هو علم الجيولوجيا؟ 379
تكوين الصخور وأنواعها 380
تكون التربة 381
دراسة حالة 1.6: صنع التراب 387
خصائص التربة 389
سيماء التربة 391
وظائف التربة 393
علم المياه الجوفية 398

الفصل السابع : أخذ العينات البيئية وتحليلها 405
مقدمة 408
أخذ العينات البيئية وتحليلها : ماذا يعني؟ 409
الاعتبارات العامة لبرنامج أخذ العينات 410
دراسة حالة 1.7 : سيدني، أستراليا 416
طرق التقييم العامة للأوساط البيئية 425
تقييم جودة الهواء المحيط 425
تقييم جودة التربة والمياه الجوفية 427
الفصل الثامن : البيئة والتقانة 435
مقدمة 440
تأثير التقانة على جودة الهواء 443
أول أوكسيد الكربون 446
الأوزون 446
ثاني أوكسيد الكبريت 448
الرصاص 449
المواد الكيميائية السامة 450
دراسة حالة 1.8 : الزينوإستروجينات وهيمنة الإستروجين 451
المادة الحبيبية المنقولة بواسطة الهواء 457
الترسب الحمضي 458
مصادر التلوّث المائي 461
النفايات المتطلبة للأوكسجين 462
النفايات المسببة للأمراض 463
المواد السامة والمواد الخطرة 464
دراسة حالة 2.8 : التعرض المستمر للمبيدات الحشرية 465
الرسوبيات 467
دراسة حالة 3.8 : ما مشكلة خليج جيسبيك ؟ 468
التلوث الحراري 472
مغذيات النباتات 473
المواد الدائمة 474

المواد المشعة 475
مصادر تلوث التربة 476
دراسة حالة 4.8: قوانين التلوث والاستعداد العسكري 477

الجزء الثاني : جودة الهواء

الفصل التاسع : الجو - أساسيات جودة الهواء 485
مقدمة 489
الغلاف الجوي 491
الغلاف الجوي : التركيب الكيميائي 491
الغلاف الجوي :التركيب 494
دراسة حالة 1.9 : الوضاءة 499
توازن حرارة الأرض 500
الغلاف الجوي : الحركة 502
أسباب حركة الهواء 503
دورة الهواء المحلية والعالمية 509
دراسة حالة 2,9: النفخ في الريح. 511
الفصل العاشر : علم الأرصاد الجوية 521
مقدمة 524
دراسة حالة 1.10 : شنك- فيري : المناخ المحلي على أرض الواقع 525
علم الأرصاد الجوية : علم الطقس 527
دراسة حالة 2.10 : النينو 528
الشمس : مولدة الطقس 530
كتل الهواء 532
الانقلاب الحراري وتلوث الهواء 533
الفصل الحادي عشر : ملوثات الجو 539
مقدمة 543
ملوثات الهواء الرئيسية 544
المعايير الوطنية لجودة الهواء المحيط 544
دراسة حالة 1.11 : المعركة تستعر عند منتزه يلوستون الوطني. . . حول

الزلاجات الآلية 558
المواد الحبيبية 560
الرصاص 561
دراسة حالة 2,11: خذ نفساً عميقاً.. وأحبسه 562
الفصل الثاني عشر: انتشار الهواء الجوي 569
مقدمة 573
الجو وعلم الأرصاد 573
نماذج الانتشار 584
الفصل الثالث عشر: التغير الجوي-تغير المناخ الكوني 591
مقدمة 595
الإحترار الكوني 596
تأثير الدفيئة 599
تأثير غاز الدفيئة والإحترار الكوني 601
العوامل ذات الصلة بالإحترار/ التبريد الكوني 602
كيف يمكن قياس الإحترار الكوني؟ 603
الترسيب الحمضي 611
الضبخان الكيميائي الضوئي 615
نضوب الأوزون في طبقة الستراتوسفير 617
الفصل الرابع عشر: تقنية التحكم في تلوث الهواء 625
مقدمة 630
خيارات التحكم في تلوث الهواء 631
دراسة حالة 1,14: سيدار كريك للأسمدة 632
معدات وأنظمة التحكم في تلوث الهواء 638
إزالة الحبيبات الجافة 640
إزالة الملوثات الغازية: المصادر الثابتة 651
إزالة الغازات الملوثة: المصادر المتحركة 667

الجزء الثالث: جودة المياه

الفصل الخامس عشر: خواص المياه 679

مقدمة 687
مصادر الماء 689
ما هي المصادر الرئيسية لمياه الشرب؟ 691
خصائص المياه 705
الخواص الفيزيائية للماء 707
الخصائص الكيميائية للماء 715
الخصائص الحيوية للماء 728
الفصل السادس عشر : خصائص أجسام المياه العذبة 741
مقدمة 751
المياه السطحية 755
أنظمة المياه الساكنة (أو الراكدة) 757
البرك 757
البحيرات 764
دراسة حالة 1,16 : التخثث 768
الأنواع الخاصة من البحيرات 770
دراسة حالة 2.16 : البحر الميت 771
تصنيف البحيرات إعتماداً على المحتجزات 774
التطبق الحراري وتحول البحيرة 775
أنظمة المياه الجارية (المنسابة) 779
الأنهار 780
دراسة حالة 3.16 : لماذا تفيض الأنهار 783
مسكن النهر 793
جودة مياه النهر 794
دراسة الحالة 4.16 : نهر ويلاميت 797
الأنهار والتنقية الذاتية 810
الكائنات الحية المائية ودورها في عملية التنقية الذاتية 814
المياه الجوفية 818
إستخدامات ومصادر المياه الجوفية 819
مكامن المياه الجوفية 820

إنسياب المياه الجوفية 821
الفصل السابع عشر: تلوث الماء 827
مقدمة 829
دراسة حالة 1.17: مشروع تجديد غدير دونيقال، بمحافظة لانكستر، مشاريع التحكم في التلوث غير النقطي، هيئة الحفاظ على مستجمعات المياه، مصلحة الحفاظ على البيئة ببنسلفانيا 830
التلوث النقطي والتلوث غير النقطي 831
دراسة الحالة 17-2: تفريغ غير مشرف 832
المصادر الصناعية لتلوث المياه 834
دراسة حالة 17-3: شرق وابرن، ماساشوستس 837
التخلص من النفايات الخطرة 843
مياه صرف المناجم الحمضية 843
دراسة حالة 17-4: ماء صرف المناجم الحمضي وحفرة بيركلي 845
المصادر الزراعية لتلوث المياه السطحية 851
دراسة حالة 17-5: نموذج مبدأ لوتكا - فولتيرا للفريسة - المفترس 852
دراسة حالة 17-6: عمليات تغذية الحيوانات المركزة 857
المطر الحمضي 862
تلوث المياه الجوفية 863
الفصل الثامن عشر: التحكم في تلوث المياه 869
مقدمة 875
قانون ماء الشرب الآمن (SDWA) 875
القانون الفيدرالي للتحكم في تلوث الماء 877
أثر القوانين المنظمة في الوقاية من تلوث الماء 878
معالجة المياه 881
معالجة مياه الصرف الصحي 882
معالجة التلوث الحراري 889
تقنية التحكم في التلوث 890
أحواض التخزين الجوفية 890
تقنية التحكم في التلوث 899

معالجة المياه الجوفية 899

الجزء الرابع : جودة التربة

الفصل التاسع عشر : خصائص التربة 909
مقدمة 912
التربة : ما هي؟ 919
أساسيات التربة 922
خواص التربة 923
دراسة حالة 19-1 : غزو الغرباء 926
تكوين التربة 928
دراسة حالة 19-2 : جسر فرجينيا الطبيعي 933
الفصل العشرون : تلوث التربة 943
مقدمة 948
الأصول السطحية لملوثات التربة 949
الملوثات الغازية والمنقولة بالهواء 951
رشيح مياه السطح الملوثة 953
التخلص الأرضي من المواد الصلبة والسائلة 953
أكوام التخزين والخبث و الأنقاض 954
مقالب النفايات 955
نشر الملح على الطرقات 956
معالف الحيوانات 956
المخصبات و مبيدات الآفات 956
الإنسكابات العرضية 958
إنتاج السماد من الأوراق والنفايات الأخرى 958
الممارسات الصناعية وتلوث التربة 959
التلوث من مواقع حقول النفط 959
التلوث من المواقع الكيميائية 961
التلوث من مواقع الحرارة الجوفية 962
التلوث من منشأت الغاز المصنع 963

التلوث من مواقع التعدين 964
التلوث من الإرهاب البيئي 965
دراسة حالة 20-1: الحقول البنية 966
الفصل الواحد والعشرون: تقنية التحكم في تلوث التربة 973
مقدمة 980
أحواض التخزين الجوفية: المشكلة 981
مشاكل التآكل 982
البناء المعيب 982
دراسة الحالة 21-1: أحواض أ.جي راوندوي 983
التنصيب المعيب 990
فشل الأنابيب 991
الإنسكابات و الملء الفائض 992
دراسة الحالة 21-2: الخطأ البشري 993
ملائمة المحتويات لأحواض التخزين الجوفية 999
تقييم المخاطر 1000
مسارات التعرض 1001
معالجة الترب الملوثة بأحواض التخزين الجوفية 1002
التقانات الموضعية 1005
التفكيك الحيوي الموضعي 1010
الترشيح الموضعي و التفاعل الكيميائى 1016
المعالجة السلبية الموضعية 1018
العزل/الإحتواء الموضعى 1019
دراسة الحالة 21-3: أساليب المعالجة المبتكرة 1022
الأساليب غير الموضعية 1026
المعالجة الأرضية 1026
المعالجة الحرارية 1029
دمج الأسفلت و الطرق الأخرى 1030
التصلب/ التثبيت 1035
الإستخلاص الكيميائي 1037

الحفر 1037

الجزء الخامس: النفايات الصلبة والخطرة

الفصل الثاني والعشرون: النفايات الصلبة 1049
مقدمة 1053
دراسة الحالة 22-1: طريق الدائرة العظمى 1055
التاريخ القانوني للنفايات الصلبة (الولايات المتحدة) 1056
خواص النفايات الصلبة 1059
دراسة الحالة 22-2: تنظيف النهر 1062
مصادر النفايات الصلبة المدينية 1063
دراسة الحالة 22-3: النفايات المشكلة - التخلص من الإطارات 1065
الفصل الثالث والعشرون: النفايات الخطرة 1071
مقدمة 1075
أمريكا: مجتمع رمي النفايات 1076
ما هي المادة الخطرة؟ النفايات الخطرة؟ 1077
المواد الخطرة 1078
المواد الخطرة 1079
المواد الخطرة جداً 1079
المواد الكيميائية السامة 1080
النفايات الخطرة 1080
دراسة حالة 23-1: تسربات المواد الخطرة 1081
المواد الكيميائية الخطرة 1082
مرة أخرى، ما هي المواد الخطرة؟ 1082
ما هي النفايات الخطرة؟ 1086
قوائم وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة للنفايات الخطرة 1086
دراسة حالة 23-2: المملكة المتحدة تنهي رمي الأوحال في البحر،
ولكن الترميد يقلق علماء البيئة 1088
من أين تأتي النفايات الخطرة؟ 1090
لماذا نهتم بالنفايات الخطرة ؟ 1090

دراسة حالة 23-3: يوم السوق 1091
تشريعات النفايات الخطرة 1095
الفصل الرابع والعشرون: تقانة التحكم بالنفايات 1103
مقدمة 1106
تقليل النفايات 1107
إستبدال المدخلات 1108
تعديلات العملية 1109
ممارسات التشغيل الجيدة 1109
إعادة التدوير 1110
تقانات المعالجة 1111
المعالجة الحيوية 1112
العمليات الحرارية 1113
إمتزاز الكربون المنشط 1115
تقانات الإستعادة عن طريق التحليل الكهربائي 1115
تعرية الهواء 1116
التثبيت والتصلّب 1116
الترشيح والفصل 1117
التخلص النهائي 1118
حقن الآبار العميقة 1118
المحتجزات السطحية 1120
أكوام النفايات 1122
كبّ النفايات 1123
خاتمة: بإمكان العلم و التقنية أن يساعدا فى الحصول على أرض
مستدامة 1131
الثبت التعريفي 1135
ثبت المصطلحات (عربي - انجليزي/ انجليزي عربي) 1221
الفهرس 1265

فاتحة الطبعة الثانية

نحن ممتنون للاستقبال الحار الذي حظيت به الطبعة السابقة من قبل القراء، والطلاب، والمعلمين، والمراجعين ومحبي الإطلاع. وتهدف هذه الطبعة، مثلها مثل سابقتها، إلى أن تقدم الأوساط البيئية–الهواء، والماء، والتربة –لطلبة المستوى الجامعي في علم البيئة والمناهج المرتبطة به. لذا فقد تمت مراجعة الكتاب ليتضمن الإضافات الحديثة في فهمنا الظواهر الأساسية وتطبيقات التقانات والمواد الحديثة.

ستجدون تغييراً واضحاً التوسع في معالجة المواضيع كلها، وبالإضافة إلى ذلك فقد أضيفت أسئلة للتأمل في نهايات الفصول. وكذلك تم تحسين العرض الفوتوغرافي بإضافة العديد من الصور.

وكما في الماضي فإن تعليقات واقتراحات القراء تظل موضع تقديرنا الشديد.

للمدرس

إن دراسة علم البيئة هي دراسة متداخلة التخصصات. فهي تشمل مناحيَ أساسية من علم الأرض، والبيئة، والأحياء، والجيولوجيا، والهندسة، والكيمياء، من ضمن علوم أخرى. وعلم البيئة وثيق الصلة بالتقانة. هذه العلاقة التبادلية التي يتم تجاهلها أحياناً، هي من الأهمية بمكان، فمن دون أن نجعل هذه الصلات جليةً للطلاب فإن فائدة ونفع علم البيئة تضيع. وبإختصار فإن فجوة قد تكونت بين علم البيئة والتقانات البيئية– وهذه الفجوة ذات تأثير على البيئة.

هل نحتاج لردم هذه الفجوة ؟ نعم. تفشل العديد من المقررات التقليدية في علم البيئة للطلبة الجامعيين في (أوتتفادى) مناقشة وتطوير العلاقة الطبيعية التبادلية بين علم البيئة والتقانة. ضع هذا في الإعتبار: إن المبادئ الأساسية التي تحكم وظيفة الأنظمة الفيزيائية والحيوية(المفاهيم الأساسية) والتي تُكوّن البيئة لا تتغير. ويمكن للطالب التعمق في المبادئ الأساسية عند تزويده بأي

من الكتب الجيدة المتاحة حالياً في هذا الحقل. وبما أن علم البيئة علم ديناميكي، دائم التغير، فإن على الطلاب التعمق في مبادئه الأساسية حتى يتكيفوا مع هذه التغيرات. ولكن غالبية المقررات في علم البيئة تفشل في مهمتها الأشد أهمية. فهي لا توصل إلى الطالب الأسباب التي تقف وراء أهمية هذا العلم. فما حسنة علم البيئة؟ يتعلم الطلاب المزيد من المعلومات نفسها بدراسة أساسيات علم الأرض، أوعلم البيئة (التبيؤ)، أو الأحياء، أو الجيولوجيا، أو علم المياه، أو أي من الموضوعات الأخرى ذات الصلة.

تذكر هذا: طلبة اليوم ليسوا هم نفسهم من درَّسناهم قبل عشرة أعوام أو خمسة عشر عاماً. طلبة اليوم يريدون أن "يروا" فائدة المواد التي يدرسونها. فهم ليسوا متحمسين للتعلم من أجل التعلم، ولا يريدون سماع "تعلم- سترى كيف يفيدك لاحقاً ما تعلّمت، ربما". لديهم سؤال محوري: كيف سيساعدني تعلم هذا المقرر في المستقبل؟

يقدم هذا الكتاب إجابة واضحة عن هذا السؤال.

يطور طلبة المستوى الجامعي فضولاً طبيعياً لبعض الاتجاهات المضمَّنة في المقرر- بما لهذه الاتجاهات من أثر مباشر على حياتهم ومصدر رزقهم. لذا يتوسع هذا الكتاب إعتماداً على هذه الرغبة الطبيعية في إستكشاف ما يحدث في الهواء، وسبب حدوثه، وما يحدث في الماء، والتربة التي يعتمد عليها وجودنا. فبينما يناقش كتاب "علم وتقانة البيئة، المفاهيم والتطبيقات" في هذه الأوساط الثلاثة بتفصيل، فإنه أيضاً يسعى إلى سدّ الفجوة بين علم البيئة وأثر التقانة مع شروحات جلية ورسوم توضيحية للعلاقة التبادلية بين الأساسيات (المفاهيم) والاستخدام الفعلي (التطبيقات).

للطالبو لنا جميعاً

لقد سمعت، أوقرأت عن، أوشهدت الأثر المأساوي للتقانة على البيئة. وقد تكون لاحظت أوسمعت عن أنهار أثقلت بالنفط لدرجة أن النيران إشتعلت فيها. وربما

لاحظتم، أوسمعتم، أو قرأتم عن أن السماء فوق بعض المناطق الحضرية قد إصطبغت بسواد السخام. وقد يكون بعضكم استنشق هواءاً ملوثاً يُرى بالعين المجردة. وربما رأيتم بحيرات مختنقة بالطحالب، أو بحيرات قد تسممت بحيث لم تعد قادرة على دعم الحياة (وعلى الرغم من ذلك لا تزال مصدراً لمياه الشرب). أو ربما رأيت الوجه الآخر للعملة– ربما رأيت مكاناً شديد النقاء، خالياً من الأوساخ، يمور بأشكال الحياة، بحيث وقر عندك كشيء خاص ومختلف، لا يقدر بثمن.

وربما رأيت ماكينات نبش الأرض الميكانيكية وهي تحول أرضاً بكراً نقية إلى حفر وردميات بعد اقتلاعها لكتل ضخمة من على وجه تلك الأرض. وحيث أن الأرض قد أُفسدت وتم تلويثها بمواد خطيرة رميت هناك من قبل المجرمين في حق البيئة، والذين ارتكبوا نتيجة لجشعهم، وعدم إكتراثهم، وعدم تفكيرهم، الجريمة العظمى – فقد سممونا جميعاً عندما سمموا ما يتوجب علينا أن نمتلكه لكي نعيش. لقد أفسدوا أرضنا.

ولربما قرأت، وسمعت عن، أوشاهدت مثل هذه المهازل على أرض الواقع، مثل هذه اللامبالاة بمصدر وجودنا وأساس بقائنا ذاته. وفي الماضي، والحاضر (ونأمل ألا يكون في المستقبل) وجّهنا اللوم لمجرم مثابر – لأناس يستخدمون (من دون دراية بالعواقب)، أويسيئون استخدام التقانة والتقدم التقني أويستخدمونهما بشكل عدواني.

في "علم البيئة والتقانة، المفاهيم والتطبيقات": نتفحص عدة مشاكل بيئية تحدق بنا، كما نتفحص أبعاد هذه المشاكل، وأسبابها المتنوعة والمترابطة. كما نفحص بالتفصيل الأوساط البيئية الثلاثة التي نعتمد عليها بشكل كامل: الهواء، والماء، والتربة. وننظر في البيانات الخاصة بالعلاقات البيئية للكائنات المهددة بالإنقراض (هل نحن منهم؟)، وتأثير المواد السامة على الهواء، والماء، والتربة (وفي نهاية المطاف صحة البشر)، وفي تشتيت الملوثات في الجو، والأجسام

المائية; والتربة، وتراكم المواد الكيميائية المقاومة في شبكات الغذاء المائية وضبط الآفات الزراعية والمبيدات الحشرية. كما ننظر في المطر الحمضي وإدارة النفايات الخطرة.

وننظر أيضاً في منشآت معالجة مياه الصرف الصحي والتي خففت كثيراً من تأثير بعض ملوثات المياه. كما نلقي نظرة على مشكلة المياه الجوفية ونقص الأوزون. وننظر أيضاً في التطورات التي حدثت في إعادة استخدام وإعادة تدوير الترب الملوثة. هذه المشاكل كلها تستطيع أن تؤثر وستؤثر علينا جميعا – وهي متعلقة بالبيئة.

هل تتساءل: " إذن ما الجديد في هذا؟ لقد سمعنا هذا كله من قبل". لقد سمعت، وقرأت ودرست هذه الموضوعات. لكن ضع هذا في اعتبارك:إن معرفة أساسية بعلم البيئة هي شرط واجب الوفاء به لمجابهة تحديات البيئة والمصادر الطبيعية التي ستواجهنا جميعاً في القرن الحادي والعشرين. وبالطبع هذا مفهوم قديم. ولكن لابد من أن نتجاوز المفاهيم إلى الأهداف التي تقودنا إليها هذه المفاهيم– إلى رؤية واقعية، ومقدمة بوضوح ترينا التأثيرات البيئية للأنشطة البشرية (خصوصاً تطورات التقانة)، والتي يمكن أن يكون لها أثر مفيد على الأرض عندما يتم توجيهها بشكل بنّاء.

وباختصار فإن الرسالة الأساسية لهذا الكتاب هي أنه، على الرغم من كل المشاكل البيئية والتحديات، يقول ليست الأنباء كلها سيئة. تذكر أن لكل مشكلة حلاً. وهذا الحل من الأهمية بمكان. سيرد ذكر كيف تستطيع التقانة إسعاف الطبيعة مراراً وتكراراً. فبالنسبة للمشاكل البيئية يكمن الحل في استخدام التقانة الملائمة لتقليل الخلل البيئي.

الترتيب والمحتوى

يندرج كتاب "علم وتقانة البيئة، المفاهيم والتطبيقات" في خمسة أجزاء مقسمة بدورها إلى أربعة وعشرين فصلاً، وتم ترتيبه بحيث يقدم تسلسلاً عادلاً ومنطقياً

للمفاهيم. فهو يزود الطالب بصورة واضحة ورصينة عن هذا الحقل المعقد.
يقدم الجزء الأول حجر الأساس للفكرة الرئيسية في وراء هذا الكتاب – الروابط بين علم البيئة والتقانة. كما يُعزز الربط بين الشق الفلسفي بالنواحي العملية، والتي تشمل تقدمة للأساسيات المعرفية :الطاقة، وتوازن المواد، ووحدات القياس. ونقدم هذه الموضوعات ببساطة، وبشكل سهل، وفي صيغة ميسورة الفهم. تشمل المقدمة أيضاً مفاهيم الكيمياء البيئية، علم الأحياء/البيئة، وعلم السموم، والجيولوجيا، وعلم المياه الجوفية والعمليات البيئية. لهذه المفاهيم كلها صلة وثيقة بعملية بناء الأساس، كما أنها مقدمة في صيغة ميسورة الفهم.
ويطوّر الجزء الثاني مبادئ جودة الهواء الأساسية لفهم مغزى جودة الهواء. كما يناقش بالتفصيل علم المناخ، وتلوث الهواء، وإنتشار الهواء في الجو، والتغيير الجوي (تأثير الدفيئة وتغير المناخ العالمي)، والتحكم في تلوث الهواء.
ويركز الجزء الثالث على جودة المياه وخواصها والأجسام المائية، وعلوم المياه وتلوثها معالجتها.
من ناحية أخرى يعالج الجزء الرابع علم التربة ليؤكد على أهمية التربة كمصدر طبيعي، وإبراز التفاعلات العديدة بين التربة والمكوّنات الأخرى للنظام البيئي.
كما خُصص الجزء الخامس بالكامل ليظهر كيف أن القرارات المتعلقة بمعالجة النفايات الصلبة والخطرة بمقدورها أن تؤثر تأثيراً عميقاً على البيئة وعلى الأوساط الثلاثة التي تمت مناقشتها في هذا الكتاب: الهواء، والماء، والتربة.
وأخيراً تنظر الخاتمة في حال البيئة، في الماضي، والحاضر، والمستقبل. والتأكيد في هذه الوحدة المختصرة هو على تخفيف المشاغل البيئية الحاضرة والمستقبلية بإدماج التقانة في العملية الإسعافية – وليس بالقاء اللوم عليها في التسبب بالمشكلة.

ملامح خاصة

يَطلب كتاب "علم وتقانة البيئة، المفاهيم والتطبيقات" من قرائه أن يتفحصوا

وجهة نظرهم في العالم قبل أن يبدأوا بدراسة القضايا البيئية. وتشمل ملامح الكتاب:

- أهداف الفصل.
- المصطلحات الأساسية.
- أمثلة معاصرة وواقعية لتوضيح المبادئ.
- أسئلة للمناقشة.
- موضوعات مقترحة للطالب متابعتها لأغراض الأبحاث الدراسية والمشاريع.
- مراجع للقراءة الموسعة والبحث.

الجزء الأول

مقدمة: الأساسيات – الطاقة، توازن المواد، ووحدات القياس

الفصل الأول

مقدمة: Introduction

الأساسيات – الطاقة، Fundamentals – Energy

توازن المواد، ووحدات القياس Materials Balance ، and Units of Measurment

علم وتقانة البيئة: الصلة Environmental Science and Technology : The Connection:

يعتبر النهر الدائري (The Round River) احد عجائب ويسكونسن في الأزمان الباكرة، فهونهر يصب في نفسه، متدفقاً في حلقة دائرية لا نهاية لها. لقد تم أكتشافه من قبل بول بنيان (Paul Bunyan)، الذي ترينا ملحمته كيف أنه طاف على ظهر كلك (Raft) مرات عدة في مياهه التي لا تهدأ.

لم يشك أحد في أن بول كان يتحدث بشكل مجازي، وربما رمزي، ولكنه أصاب الحقيقة في هذه الحالة. فليس لويسكونسن نهر دائري فقط، بل إن ويسكونسن هي ذاتها دائرية. وتيار نهرها دفق طاقة ينساب من التربة إلى النباتات، وللحيوانات، ومن ثم للتربة مرة أخرى في دورة الحياة اللامتناهية.

–ليوبولدLeopold 1970، 188

أهداف الفصل Chapter Objectives

بعد دراسة هذا الفصل يجب أن تكون قادراً على أن:

- تتعرف إلى المفاهيم الأساسية لدراسة علم البيئة.
- تناقش جذور علم البيئة، وجوانب الدراسة التي يشملها، ووظيفته ضمن مجتمعنا.

- تعرّف وتناقش الفوائد والمشاكل الموروثة عند استخدام التقانة في ظروف بيئية متفردة.
- تعرّف وتناقش مفاهيم مثل المنتج الأقصى المستدام، ورأس المال الطبيعي، والعولمة البيئية.

خطة الفصل Chapter Outline

- تعريف ومناقشة: علم البيئة والتقانة
- تعريفات: البيئة والعلم
- تعريفات: المفاهيم الأساسية والمفردات
- تعريفات: العلم البحت، والعلم التطبيقي، وعلم البيئة. دراسة حالة: سلمون نهر ريتشل
- مناقشة: المتطلبات المجتمعية، والإحتياجات البيئية، والمصادر، والتطورات التقانة. دراسة حالة: الحمام الرحال (الزاجل)، ودجاج هيث، ودجاج أتواتر البريّ. دراسة حالة: استخدام الأراضي والآميش في مقاطعة لانكستر، بنسلفانيا.
- مناقشة:الحلول التقانة للمشاكل البيئية. مثال: الشركات العابرة للقارات والتلوث البيئي.

المصطلحات الأساسية Key Terms

maximum sustainable yield	المنتوج الأقصى المستدام	abiotic	غير حيوي
niche	موضع، عش	air pollution	تلوث الهواء
non point source pollution	التلوث ذوالمنشأ الخارجي	atmosphere	الغلاف الجوي
bio geochemical	الدورات	non-renewable resources	الموارد غير

cycles	الجيوكيميائية الحيوية		المتجددة
biosphere	الغلاف الحيوي	overgrazing	الرعي الجائر
biota	الكائنات الحية	perpetual resources	الموارد الأبدية
biotic	أحيائي	point source pollution	تلوث نقطة المصدر
consumers	المستهلكين	pollute	يلوث
decomposers	المفككات	producers	المنتجين
desertification	التصحر	recycling	إعادة التدوير
earth's natural capital	رأسمال الأرض الطبيعي	renewavle resources	الموارد المتجددة
ecology	علم البيئة	resource	مصدر ، مورد
ecosystem	نظام بيئي	reuse	إعادة استخدام
enviroment	البيئة	science	العلم
environmental science	التدهور البيئي	scientific method	الطريقة العلمية
environmental science	علم المحيط	stewardslup	إشراف
geosphere	الغلاف الأرضي	sustainable societies	مجتمعات مستدامة
habitat	مسكن	thermal pollution	التلوث الحراري
hydrosphere	الغلاف المائي	transnational corporations	الشركات العابرة للقارات

تلوث الماء	water pollution	القشرة الأرضية	lithosphere

مقدمة Introduction

يطوّر ليوبولد Leopold فكرة تشبيه ويسكونسن، والأرض كلها قياساً على ذلك، بالنهر الدائري، والرسالة المضمنة هنا هي: إننا نحن، وبصفتنا ممثلين لقلة من الكائنات الحية التي تعتمد على النهر في حياتها، وبقائها–فإننا نرتبط به، بهذا الجزء من البيئة التي نؤثر فيها ونتأثر بها.

تتفحص معظم كتب علم البيئة أربعة مناحٍ: الهواء، والماء، والتربة، والكائنات الحية. في حين يركز متن هذا الكتاب على ثلاثة منها فقط – لأنه من دون وجود الهواء، والماء، والتربة لا وجود للكائنات الحية. فمن دونهم سيكون الكوكب عبارة عن كتلة ضخمة من الصخور العقيمة التي تدور في مدار. فمن دون الهواء، والماء، والتربة، لا يبقى شيء نستطيع، أو يكون بمقدورنا أن نرتبط به.

وبالإضافة إلى التركيز المعتاد من الهواء، والماء، والتربة، والكائنات الحية، يغفل العديد من كتب البيئة عنصراً مهماً يتعلق بها جميعاً– وهوالعنصر الذي يؤثر عليها كلها: التقانة. لا ينبغي أن يكون في هذا مفاجأة لأيّ مهتم بالبيئة وقضاياها، خصوصاً عند الوضع في الإعتبار أن التقانة واستخدامها هما الملامان عادة على تدهور البيئة.

إننا ندمر البيئة عبر استخدام وإساءة استخدام التقانة، واستخدامها بشكل عدواني. فنحن، وبشكل متكرر، نستخدم التطورات التقانية قبل أن نفهم آثارها الطويلة الأمد على البيئة. إننا نوازن بين الفوائد التي تهبها لنا التطورات التقانية من ناحية وبين البيئة من الناحية الأخرى، ومن ثم نقلل من أهمية البيئة مدفوعين بالجشع والغطرسة، وإنعدام المعرفة، والغباء. إننا عادة ما نتفحّص

خططاً قصيرة الأمد من غير أن نتبين كيفية معالجة المشاكل لاحقاً. وبهذا نفترض أنه حين تصل الأمور إلى مرحلة حرجة، فإن التقانة ستكون متوفرة لمعالجة المشكلة. وسيتوصل العلماء إلى حل المشكلة، هذا ما نؤمن به متجاهلين العواقب المباشرة لإساءة استخدام التقانة ذاتها. وعلينا أن نضع هذا في الاعتبار.

وفيما تزودنا التطورات التقانية بالطاقة النووية، وبالمصباح الضوئي ومصدر طاقته، وبالبلاستيك، ومحرك الإحتراق الداخلي، وبتكييف الهواء، والتبريد(وثلة من تطورات التقانة التي تجعل حياتنا العصرية مريحةً ولطيفة) فإن هذه التطورات أثرت على بيئة الأرض بطرق لم نتوقعها، وبطرق نأسف، وقد لا نقدر على التعايش معها. وفي هذا الكتاب نجادل أيضاً بأن التقانة نفسها يمكن أن تستخدم لتقليل عواقب إساءة استخدام التقانة.

في هذا الفصل ننطلق في رحلةٍ تبدأ من الأساسيات، من اللبنات التي تمكننا من أن نتابع ونعي المفاهيم الصعبة. وسنطوّر رؤىً أوضح لأفكار قد يراها البعض قضايا مثيرةً للجدل (على الرغم من أننا جميعاً نقر بأن البيئة ليست بالنقاء ولا بالبكارة التي نريد – أو نتوقع) تؤثر علينا جميعاً. وبوجه أكثر أهمية، فإننا نعرض تبصراتنا التي قد تعينك على أن تفكر بما يجب وما لا يجب عمله، وما يجب أن يكون محور تركيز الجنس البشري في المحافظة على الحياة كما نعرفها، وكما نريد، وكما نستحق. فلنستمتع برحلة سلسة ومستنيرة.

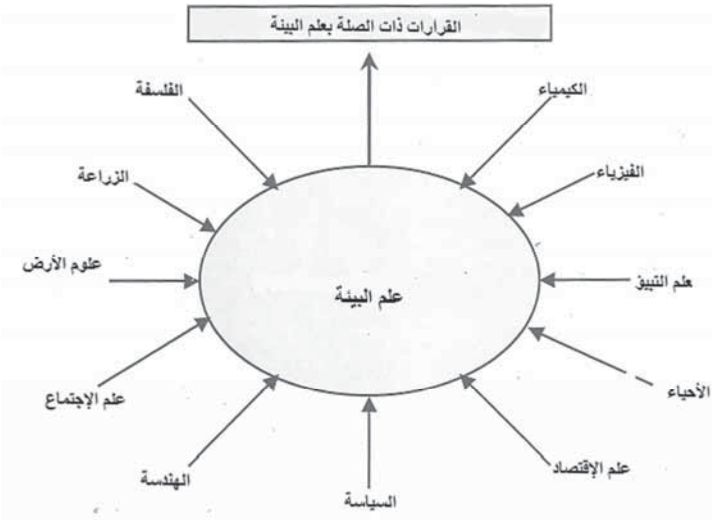
ماهوعلم البيئة ؟ What is Environmental Science

لكي نُعرّف **علم البيئة** (Environmental Science) كمادة متداخلة التخصصات لكيفية عمل الأرض، وكيفية تأثيرنا على أنظمتها الداعمة للحياة (البيئة)، وكيفية تعاملنا مع المشاكل البيئية التي تواجهنا، لابد لنا من أن نفكك الكلمتين وننظر إليهما بشكل منفصل. تشمل **البيئة** كل الأشكال الحية وغير

الحية (مثل الهواء، والتربة، والماء) والتي تؤثر على الكائنات الحية. بينما **العلم** هو ملاحظة، وتعرف إلى، ووصف، واستقصاء معملي، وشرح نظري للظواهر الطبيعية. فعندما ندمج الاثنين نحصل على سمة معقدة ومتداخلة التخصصات يتوجب علينا من خلالها تعريفهما بشكل ضيق وآخر موسّع – ومن ثم ندمجهما– بما يسمح لنا بالحصول على تعريف دقيق.

إن التعريف الضيق لعلم البيئة يصفه بأنه دراسة تأثير الإنسان على البيئة الطبيعية أوالحيوية لكائن حي. وبهذا الفهم، فإن علماء البيئة يهتمون بتحديد آثار المبيدات الحشرية على الأراضي الزراعية، وتعلم الكيفية التي يؤثر بها المطر الحمضي على الحياة النباتية، وتحديد تأثير إدخال أنواع غريبة من اسماك الصيد إلى بركة أو بحيرة، وما شابه ذلك.

وبدءاً من أوائل الستينيات، تطور علم البيئة من العلم الطبيعي، وعلم الأحياء، وعلم المحيط، والمحافظة على الأنواع، والجغرافيا. وقاد إزدياد الوعي بالإعتماد المتبادل بين كل العناصر المنفردة التي تكون البيئة إلى دراسات ميدانية تحتوي على جوانب من هذه العناصر كلها. فقد تم دمج أفكار احيائية وفيزيائية مع أخرى من العلوم الإنسانية – وعلم الاجتماع، والإقتصاد والعلوم السياسية– في حقل جديد متداخل التخصصات: هوعلم البيئة (أنظر الشكل1.1).



الشكل.1.1. مكونات علم البيئة

يمتلك العديد من علماء البيئة خلفيات واسعة ومتنوعة. فإن عالم البيئة المدرّب جيداً هوعالِم شامل، فهومدرّب كعالم أحيائي، وعالم محيط (أوما عُرف سابقاً بعالِم الطبيعة)، وعالِم جيولوجيا، ومهندس بيئي – أومتخصص في أي من المجالات المتعددة المرتبطة. وسواء كان علماء البيئة علماء شاملين، أوذوي تخصص معين، فإن علماء البيئة المدربين بشكل جيد يشتركون في شيئ واحد، ألا وهو الموسوعية في عدة فروع من العلم.

وبشكل موسّع، فإن علم البيئة يشمل أيضاً الجوانب الإجتماعية والثقافية للبيئة. وبوصفه مزيجاً من العلوم التقليدية، والوعي السياسي، والقيم المجتمعية، فإن علم البيئة يتطلب معاينة تتجاوز الجوانب الفيزيائية الصلبة للعالم من حولنا– كما أن العديد من هذه الجوانب السياسية، والمجتمعية، والثقافية متفلتة بحيث تصعب البرهنة عليها كحقيقة علمية.

وباختصار، يمكننا أن نقول وبدقة إن علم البيئة هو علم بحت لأنه يشمل دراسة كافة *آليات العمليات البيئية التي تشتمل على دراسة الهواء، والماء،*

والتربة. ولكنه أيضاً علم تطبيقي لأنه يعاين المشاكل بهدف المشاركة في حلها. وكما هو واضح، فلحل المشاكل البيئية وفهم قضاياها، يحتاج علماء البيئة إلى قاعدة واسعة من المعلومات ينهلون منها.

إن البيئة التي نعيش فيها قد تأثرت بشكل لا رجعة فيه بالتقدم التقني- كما سبق وتأثرت منذ أن أتقن الإنسان استخدام الأدوات ليغير من واقع حاله. كما أننا سنظل نغير من بيئتنا لتتاسبنا طالما بقينا نوعاً قادراً على البقاء، ولكن لنفعل ذلك بشيء من الحكمة نحتاج أن نتفحّص بدقة ما نفعله وكيف نفعله. وأن نبني جسراً بين العلم والتقانة ويكون: في أحد جوانبه العلم، وفي جانبه الآخر التقانة.

ماهي ضرورة العلم طالما أننا جميعاً نرى علامات التفسخ من حولنا. فالهواء الذي نتنفسه متسخ، والماء الذي نشربه ذو رائحة وطعم كريهين، ومكبات القمامة تطفو بما لا يعلمه إلا الله. لماذا، إذن، نحتاج العلم ليخبرنا بذلك ؟

إننا بحاجة للعلم، أولاً للتحليل الكمي. فنحن نستخدم العلم للحصول على معلومات أساسية حول الحالة الراهنة للهواء، والماء، والتربة. كما نحتاج أن نعرف سبب المشكلة ومقدار خطورتها. كما نحتاجه أيضاً ليرينا المشاكل الخفية – تلك التي لا نستطيع أن نراها: فالبحيرة التي تبدو ظاهرياً طبيعيةً، قد تكون في الواقع عقيمة بسبب المطر الحمضي (ومع ذلك تبقى مصدراً لمياه الشرب). كما أننا نعتمد على القياسات العلمية ونماذج الحاسوب لتساعدنا على تحديد، وفهم، وإحداث التغيير في هذه المشاكل. إن المشاكل البيئية التي تواجهنا إليوم قد تبدو أقل وضوحاً لمن ليس لديهم وعي بها، وهي أكثر عالمية في نطاقها- ولديها فترات إستجابة أطول. نستطيع فقط حل هذه المشاكل عبر الطرق العلمية.

كما نستخدم التقانة لمجابهة مشاكل جودة الهواء والماء، وتلوث التربة، وللنفايات الصلبة والخطرة التقانة من أجل تنظيف البيئة. وهكذا. ولكن أليست

التقانة هي ما يتسبب في مشاكلنا البيئية الحاضرة في المقام الأول؟ لماذا إذن نريد ان نحول الوضع من سيئ إلى أسوأ وذلك باستخدام المزيد من التقانة؟

سواء للأحسن أو للأسوأ، فقد غيرت التقانة بيئتنا. وبينما ساهمت في مشاكلنا البيئية فلابد أن يلقى بالجزء الأكبر من اللوم على العنصر البشري.لابد للبشر من استخدام التقانة لإصلاح الضرر أيضاً. وعلى سبيل المثال، فإن تقنيات معالجة المياه ومياه الصرف الصحي قد قطعت أشواطاً بعيدة في تنقية الماء الذي نشربه فضلاً عن تأهيل مياه الصرف لتصبح مياهاً نافعة.

وسواء اتفقنا أم اختلفنا مع فوائد ومضار التقانة، فإنه ومن أجل أن نحافظ على الحياة على كوكبنا، فلابد أن نتعلم أن المزاوجة بين العلم والتقانة ليس ضرورياً لإعتبارات التوافق وحدها، بل إنه من الأهمية بمكان في جوهر ذاته.

المصطلحات Terminology

لتعي المفاهيم الأساسية لعلم البيئة فإنك تحتاج أن تتعلم المفردات الأساسية. هنا نقدم بعض المصطلحات المفتاحية المستخدمة في هذا الفصل.

يجمع العلماء المعلومات ويستنبطون النتائج حول طريقة عمل البيئة وذلك بتطبيق **الطريقة العلمية (Scientific method)**، وهي طريقة لجمع وتقييم المعلومات. وتشمل الملاحظة، والتخمين (تكوين الفرضيات)، والمنطق.

يمكن لعلم البيئة أن ينقسم لدراسة الهواء (الغلاف الجوي)، والماء (الغلاف المائي)، والتربة (القشرة الأرضية)، والحياة (الغلاف الحيوي).ومرة أخرى، فإن التأكيد في هذا الكتاب سيكون على العناصر الثلاثة الأولى: الهواء، الماء، والتربة، لأنه ومن دون أي من هذه الأشياء تضحي الحياة كما نعرفها مستحيلة.

الغلاف الجوي (atmosphere) هوغلاف رقيق من الهواء يلف الأرض وله دور متعدد الأوجه: (1) فهومستودع للغازات، (2) يحافظ على إعتدال درجات الحرارة، (3) يمتص الطاقة والأشعة فوق البنفسجية الضارة، (4) وينقل الطاقة

بعيداً من المناطق الاستوائية، (5) كما يستخدم كممر لحركة الطور البخاري من الماء في الدورة المائية.

الهواء (air)، هو خليط من الغازات التي تكوّن الغلاف الجوي للأرض، وهو عند مستوى سطح البحر يتكوّن من، 78.0% نيتروجين، 21.0% أوكسجين، 0.93% أرغون، 0.03% ثاني أوكسيد الكربون، بالإضافة إلى كميات ضئيلة من عدد من المكوّنات الأخرى.

الغلاف المائي (hydrosphere) هو المكوّن المائي للأرض، ويتكوّن من المحيطات، والبحار، والأنهر، والجداول، والمستنقعات، والبحيرات، والمياه الجوفية، وبخار الغلاف الجوي. إن **الماء** (H_2O) هو سائل بلا طعم، ولا رائحة، ولا لون عندما يكون نقياً. يغطي الماء 70% من سطح اليابسة ويوجد على شكل مياه راكدة (المحيطات والبحيرات)، وفي شكل مياه جارية (الأنهار والروافد)، وأمطار، وبخار. يدعم الماء كل أشكال الحياة على كوكب الأرض.

الغلاف الأرضي (lithosphere) يتكوّن من الأرض الصلبة، وتشمل التربة – القشرة الأرضية، وهي الطبقة العلوية المتكونة من الصخور المتحللة والمواد العضوية والتي عادةً ما تحتوي على هواء، ورطوبة، ومغذيّات، وعليه تستطيع أن تدعم الحياة.

الغلاف الحيوي (biosphere) هو نطاق من الأرض وغلافها الجوي الذي توجد فيه الحياة، ويمتد من على إرتفاع 6000 متر وحتى 10000 متر تحت مستوى سطح البحر. ويطلق على الكائنات الحية البيئية المرتبطة بها بشكل مباشر المجموع الحيوي، في حين يطلق المصطلح "غير حيوي" على الأجزاء غير الحية من العالم الطبيعي.

وتسمى سلسلة العمليات الأحيائية، والكيميائية، والجيولوجية، والتي يتم من خلالها تدوير المواد عبر الأنظمة الحيوية بالدورات الجيوكيميائية الحيوية. وسنولي اهتمامنا هنا بنوعين من الدورات: الغازية، والرسوبية. وتشمل الدورات

الغازية، ودورات الكربون، النيتروجين، مصبان رئيسية (أي مناطق الاستقبال التي تؤل إليها المواد: على سبيل المثال، النباتات هي مصبات لثاني أوكسيد الكربون) الغلاف الجوي والمحيطات. وتشمل الدورات الرسوبية دورة الكبريت ودورة الفسفور. والمصبات الرئيسية للدورات الرسوبية هي التربة وصخور القشرة الأرضية.

يعتبر علم الطبيعة (Natural Science)، كما أطلق عليه قديماً أوما يعرف الآن بعلم المحيط (Enviromental science)، جزءاً شديد الأهمية من علم البيئة، حيث يدرس تركيب، ووظيفة، وسلوك الأنظمة الحيوية والتي تكون الغلاف الحيوي. يمكن إعتبار مصطلحي علم المحيط والعلاقات التبادلية يشيران إلى الشيء نفسه، حيث أن علم المحيط هو الدراسة العلمية للعلاقات التبادلية بين الكائنات الحية مع بعضها البعض وكل الجوانب الحية وغير الحية لبيئاتها.

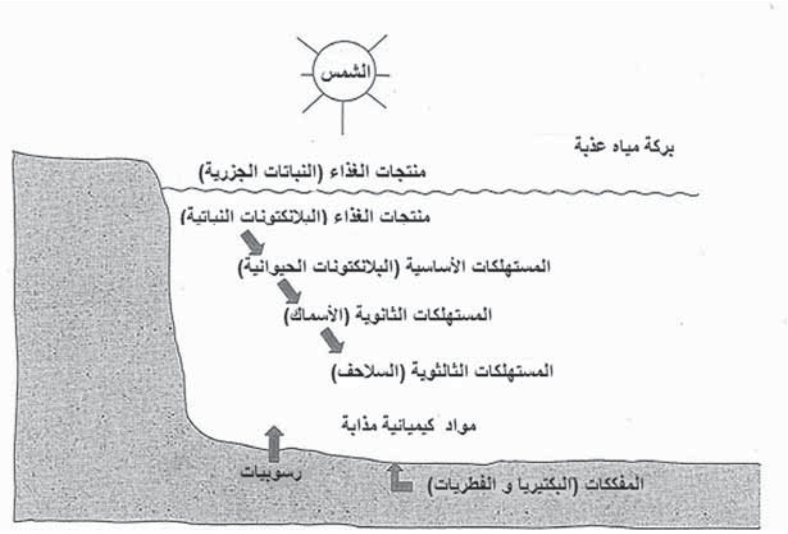
يمكن مقاربة علم المحيط من وجهتين: (1) البيئة والاحتياجات التي تفرضها على الكائن الحي الذي يعيش فيها، (2) والكائنات الحية وكيفية تأقلمها على ظروفها البيئية. ويعتبر **النظام البيئي (escosystem)** آلية دائرية، تصف الاعتماد المتبادل بين الكائنات الحية في العالم الحي (المجتمع الحيوي) مع بعضها البعض ومع الجزء غير الحيوي من بيئتها. فللنظام الحيوي مكوّنات فيزيائية، وكيميائية، وأحيائية، بالإضافة لمصادر ومسارات طاقة.

ويمكن تحليل النظام البيئي من وجهة نظر وظيفية على ضوء عدة عوامل. وتشمل العوامل المهمة في هذا النقاش، الدورات الجيوكيميائية الأحيائية، **الطاقة (energy)**، و**سلاسل الغذاء – (food chains)** – (وكلها ستناقش بتفصيل في الفصل الثاني). ويتشكل كل نظام بيئي عبر الدورات الجيوكيميائية الأحيائية التي تستخدم الكائنات الحية فيها الطاقة من الشمس لتتحصل على/أو تثبت العناصر غير العضوية وغير الحية مثل الكربون والأوكسجين،

والهيدروجين، من البيئة وتحولها إلى غذاء حيوي، يستخدم ومن ثم يعاد تدويره. ودور الكائن الحي في موئله هو نمط حياته.

يوضح الشكل 2.1 نظاماً بيئياً يتم فيه تبادل المواد الحية وغير الحية. تبني **المنتِجات** (producers) المواد العضوية من خلال التمثيل الضوئي والتخليق الكيميائي. في حين تستخدم **المستهلكات** **(consumers)** و**المفككات** **(decomposers)** المواد العضوية كغذاء وتحولها إلى مكوّنات غير عضوية – وبمعنى آخر فهي تبدد الطاقة التي تم تثبيتها من قبل المنتجات عبر السلاسل الغذائية. يتكون الجزء غير الحيوي في البركة في الشكل 1.2 من المركبات العضوية وغير العضوية، وتشمل الكربون، والأوكسجين، والنيتروجين، والكبريت، والكالسيوم، والهيدروجين، والأحماض الدبالية. في حين تمثل المنتجات– النباتات الجذرية والبلانكتونات النباتية – الجزء الحيوي. وتمثل الأسماك، والقشريات، ويرقات الحشرات، المستهلكات. من جهة أخرى فإن حوريات ذباب مايو تقتات على الفتات العضوي. وتمثل المفككات (البكتريا المائية والفطريات) العنصر الحيوي الأخير.

إن أحد الأهداف الكبيرة لعلماء البيئة وعلماء المحيط على حد سواء هو**المجتمع المستدام** (sustainable society). المجتمع الذي يتطور أقتصاده وتعداد سكانه من غير أن يؤذي البيئة وذلك من خلال تنظيم النمو السكاني، باستخدام الموارد المتجددة، وبمعدلات يمكن معها المحافظة على وتيرتها، وتشجيع أشكال، المحافظة هذه على سلامة الأرض من آثار النمو الاقتصادي وهذا هو المجتمع المستدام (ميلر Miller 2004).



الشكل 1.2. المكونات الأساسية للنظام البيئي في بركة مياه عذبة

وباختصار، وفي حين تساعدنا عدة أفرع من فروع العلم على أن نفهم العمليات الفيزيائية، والكيميائية، والأحيائية لبيئتنا، فإن علم المحيط يركز على الطريقة التي تتفاعل بها هذه العمليات كأنظمة. إن معرفة راسخة بهذا العلم ضرورة لتحصيل المعرفة في علم البيئة. فعلم المحيط والمقاربة الكلية هما وجهان لعملة واحدة، حيث أن علماء المحيط يدرسون الطبيعة بوصفها نظاماً وظيفياً، وليست مجرد مجموعة من الأجزاء المختلفة وغير المترابطة.

العلم وعلم البيئة Science and Environmental Science

عندما تعاين الشكل 1.1 ترى أن العامل في مجال البيئه، سواء أكان عالماً أوتقنياً، شخصاً ذو تخصصات متداخلة، وطيفاً واسعاً من المعرفة العلمية. فهذا الحقل يتطلب معرفة تتخطى المجالات العلمية أو التخصصية الضيقة على حد سواء. فلا بد للمشتغل بعلم البيئة من أن يفهم ويحاول أن يحل المشاكل التي تحدث بسبب التفاعل بين الأنظمة الطبيعية والثقافية. فلا يمكن لعالم البيئة

أوالتقني أن يركز فقط على " العلم الصرف". إن طبيعة علم البيئة ذو التخصصات المتداخلة تمنع هذا. ولكن ما الفرق بين "العلم الصرف" و"علم البيئة" ؟.إن الطريقة المثلى لمعرفة الفرق هو أن نقارن بين الاثنين.

في العلم، يستخدم العلماء الطريقة العلمية، وهي تستند إلى التجريب. كما يجرون تجارب محكومة، والتي عادة ما تميل إلى الاختزالية (فهم يقلصون المشكلة إلى متغير واحد) وفي أحيان كثيرة تفوتهم الصورة الأكبر. وتتطلب التجارب وقتاً. وأستعجالها يمكن أن – وعادة ما – يفقد نتائج هذه التجارب مصداقيتها. فعلى العلماء ذوي الفعالية أن يظلوا موضوعيين، متجردين من القيم، ومتخلين عن التحيز. في الجانب الآخر، يستخدم علماء البيئة تقنيات حل المشكلات. فهم يبدأون من مشكلة من صنع الإنسان ويأخذون بعين الاعتبار القيم الإنسانية المتعلقة بها. كما يضعون نصب أعينهم القيم الإنسانية، وهي ليست خالية من القيم، ولا موضوعية، ولا خالية من التحيز (ولا المجتمع كذلك).

يعرّف العلماء طبيعة النظام الطبيعي، ووظيفته، وسلوكه، والذي قد يكون، أولا يكون، ذا تطبيق مباشر على مشكلة بيئية معينة. في حين يهتم علماء البيئة بتحديد طريقة لحل المشاكل البيئية.

يطوّر العلماء فرضيات بالإستناد إلى الملاحظات السابقة، ويستخدمون الطريقة العلمية ليواصلوا مساءلة واختبار مصداقية فرضياتهم.

ويهتم العلماء بالمعرفة من أجل المعرفة، أو في حالة العلوم التطبيقية، في تطبيقات المعرفة التي يتم تحصيلها بطريقة دقيقة وشاملة، والتي ربما يكون أولا يكون لها مساهمة في حل المشكلات البيئية. في حين يهتم علماء البيئة بالعثور على أفضل الحلول (في بعض الأحيان قبل إستكمال الحقائق) للمشاكل البيئية "الفعلية" في ظرف إجتماعي معين.

العلماء الذين يجرون الدراسات من أجل تحديد وفهم الكيفية التي يقوم الغلاف

الحيوي فيها بتوليد ودعم الحياة، وعلماء البيئة الذين يقومون بحل المشاكل البيئية الناشئة من الآثار المدمرة للأنشطة البشرية يناضلون من أجل مهمتين مختلفتين. ضع في اعتبارك دراسة الحالة 1.1

دراسة حالة 1.1

السلمون ونهر ريتشل

Case Study
Salmon and the Rachel River

يقع نهر ريتشل، وهو نظام نهري إفتراضي في الشمال الشرقي للولايات المتحدة، ويشق طريقه عبر منطقة تشمل محميات السكان الأصليين لأمريكا. ويصب هذا النهر بعدئذٍ في المحيط الهادئ، منطلقاً من منابعه العالية والعميقة في سلسلة جبال الكاسكيد في ولاية واشنطن. ولعدد غير معروف من القرون، زود هذا النظام النهري سمك السلمون بمنطقة تناسل طبيعية. تنمو سابحات (Fry)* السلمون الصغيرة جداً في النهر، قبل أن تكتسب بقعها السوداء المميزة على أجسادها في النهاية وتتحول إلى برّات (parr)** من صغار سمك السلمون. وعندما يحين الوقت لتشق طريقها باتجاه البحر، وقد أصبحت أجسادها أطول ومغطاة بصبغة فضية، وأصبحت تدعى السمولطي (Smolt)، فإنها تهاجر بلا توقف إلى المحيط، حيث ستستمر بالنمو إلى أن يحين موعد عودتها إلى النهر للتناسل (بعد حوالي أربع سنين). وفي موسم التناسل، تتجه أسماك السلمون غريزياً متبعةً الرائحة تجاه نهر ريتشل (إشارة الموطن)، وهي تسبح عكس اتجاه التيار باتجاه موطنها، كما تتطلب غريزة دورة حياتها.

وقبل ان يصل(المستوطنون) من السكان غير الأصليين إلى هذه المنطقة من البريّة النقية، تعايشت الطبيعة، والبشر، وأسماك السلمون في تناغم تام رعى

---

*سابحات (Frys) السلمون: مراحل فقسه الأولى

** برات (parr) السمك: صغاره

فيه كل منهم الآخر. فقد وهبت الطبيعة سمك السلمون الموطن المثالي، وزوّد هذا السمك السكان الأصليين بالغذاء. في حين عامل السكان الأصليون العالم الطبيعي وسمك السلمون بكل الإحترام الواجب.

وبعد أن قدم المستوطنون لنهر ريتشل، بدأت التغيرات. كان السلمون لا يزال يسبح في النهر، والبشر لا يزالون يقتاتون عليه، ولكن المستوطنين أرادوا المزيد من الأراضي، فأجبروا السكان الأصليين على التراجع، حيث دمرت مساكنهم وأُجبروا على الرحيل إلى محميات، وهناك حيث فعل المستوطنون كل ما بوسعهم لمحو معتقدات السكان الأصليين وإرثهم الثقافي. كان السلمون لا يزال يسبح في الجداول.

وبعد أن اجبر المستوطنون السكان الأصليين على الرحيل، استمر السلمون يمارس حياته فترةً من الزمن. لكن المستوطنين استمروا بالتدفق على المنطقة. وفى الوقت الذي أصبحت أكثر ازدحاماً، استمر السلمون بالسباحة، لكن الآن ظهرت على موئله، وموطنه الطبيعي: نهر ريتشل، آثار الحضارة الحديثة. حضارة كانت فلسفتها وممارساتها (المتحضرة) تقول "لم أعد أحتاج هذا الشيئ، إذاً فهو قمامة، لنرمه بعيداً"، وفي ما يبدو فقد وفَّر النهر مزبلة لانهاية لها- بعيداً عن العين، وكل بعيد عن العين بعيد عن الخاطر. وفي حين ألقى المستوطنون الجدد قمامتهم، تلالاً من المخلفات في النهر، كان السلمون لا يزال يسبح.

ومع مرور الوقت، قدم المزيد من السكان، وكلما أزداد عدد السكان ازدادت إحتياجاتهم. وفي مجراه الطبيعي، كان النهر يفيض في بعض الأحيان، مسبباً المشاكل لمجتمعات المستوطنين. وبالإضافة إلى ذلك، فقد أراد الجميع مصدراً للطاقة لأسلوب حياتهم العصرية، في حين كانت الطاقة المائية تنساب إلى المحيط بشكل مستمر. وعليه بنوا أنظمة للتحكم في الفيضان وسداً مائياً لتحويل الطاقة المائية إلى طاقة كهربائية.(ومن الطريف ان السكان الأصليين لم تكن

لديهم مشكلة في التحكم بالفيضان. فعندما يرتفع منسوب النهر كانوا يفككون معسكرهم وينتقلون إلى أراضٍ أعلى. وماذا عن الطاقة الكهرومائية ؟ إذا لم تبن حياتك حول أشياء فأنت لست بحاجة للكهرباء لتجعلها تعمل. فبوجود الشمس، والقمر والنجوم، وأراضيهم الخصبة السليمة، من يحتاج للطاقة الكهرومائية؟).

واستمر السلمون بالسباحة.

إن بناء السدود وأنظمة التحكم في الفيضان تستغرق وقتاً، ولكن البشر، وعلى الرغم من ضيقهم بالصبر، فإن لهم طريقتهم في قهر واستخدام الوقت (أو أي شيء يقف عقبة في طريقهم) لإنجاز مهامهم، وتطلعاتهم، وأهدافهم ومشاريع الإنشاءات. وبمرور السنين اقترب العمل من الإكتمال، وأخيراً انتهى. كان السلمون لا يزال يسبح – ولكن بأعداد وأحجام متناقصة. وسرعان ما وجد السكان أن ليس باستطاعتهم صيد الكمية ولا النوعية التي تعودوا عليها في السابق. وعندما استبان هذا الأمر المزعج بدأوا يتساءلون: " أين ذهب سمك السلمون؟"

ولكن بدا أن لا احد يعرف. كان من الواضح ان الوقت قد حان لإستدعاء العلماء، وعليه شكّل المسؤولون من السكان لجنة، ومولوا دراسة، وعينوا بعض العلماء ليخبروهم ما الخلل الذي حدث. قالوا: "سيعرف العلماء الإجابة، وسيعرفون ما الذي يجب فعله". وكان هذا صحيحاً جزئياً. لاحظ انهم لم يسألوا السكان الأصليين. فقد كان بمقدورهم هم أيضاً ان يخبروهم بما يتعين عليهم فعله. ولكن الجواب جاد من سمك السلمون.

قَدِمَ العلماء ودرسوا الوضع، وأجروا اختباراتهم، ثم اختبروا اختباراتهم، وقرروا أن تعداد السلمون في حاجة للزيادة. ومن ثم قرروا أن ذلك يمكن أن يتم ببناء مفرخة للأسماك. تأخذ هذه المفرخة البيض من أسماك السلمون المتكاثرة، وتقوم برعايتها حتى تصبح بحجم الأصبع، ويتم إطلاقها في أحواض مصممة خصيصاً، ومن ثم لاحقاً يعاد إطلاقها في النهر.

هناك الكثير من العلم الذي يدخل في تشغيل مفرخة الأسماك. فلا يمكن لها ان تعمل بنجاح من تلقاء نفسها (رغم ان الطبيعة لا تواجه أي مشكلة إذا ما تركت لوحدها)، ولكن لابد من تشغيلها من قبل علماء وتقنيين مدربين يتبعون بروتوكولات مبرهناً عليها وتستند إلى دراسات أحيائية لدورة حياة السلمون.

وفي الوقت المناسب، كان السلمون يطلق في النهر– وفي الأثناء ذاتها، أدرك علماء آخرون ومهندسون أنه لابد من تثبيت آلية ما في السد بحيث تسمح لسمك السلمون بالسباحة مع التيار باتجاه المحيط، وبالعكس كذلك. وفي حياة السلمون (وهو من الأنواع التي تسبح ضد التيار –حيث تقضي حياتها البالغة في البحر ولكنها تعود إلى المياه العذبة من أجل التكاثر)، ما يسبح مع التيار لابد ان يسبح ضده (ضد التيار). وعليه فإن اسماك السلمون هذه تحتاج إلى طريقة للعودة عبر السد الى موطنها، وموضع تناسلها. من اجل ذلك فكر العلماء والمهندسون، وصمموا، وبنوا، وثبتوا مدارج للأسماك في السد، بحيث تتسلقها الأسماك وتتخطى السد لكي تعود إلى مواطنها الأصلية كي تتناسل ثم تموت.

وفي مواسم قليلة عاد السلمون للسباحة بقوة في نهر ريتشل. لقد تمكن العلماء مؤقتاً – وبكلفة مادية عالية– من حل المشكلة. ولكن لا شيء في الطبيعة ساكن أو دائم، كل الأشياء تتغير. فهي تتغير من وضع السكون إلى وضع الحركة، في الدوائر الطبيعية التي تتحدى التدخل الإنساني، وبسرعة نسبية، مثل بركان خامد، أو صفائح تكتونية على حافة المحيط الهادئ. وفي سنين قليلة لاحظ السكان المحليون لنهر ريتشل نمطاً مثيراً للانتباه. فقد أظهرت الدراسات أنه ومهما كانت أعداد السلمون التي يتم إطلاقها في نهر ريتشل، فإن أعداداً أقل وأقل كانت تعود للتناسل في كل موسم.

من اجل ذلك اسُتدعي العلماء مرة أخرى."لا تقلقوا، سيعرف العلماء، وسيخبروننا ما الذي يجب فعله".

وجاء العلماء، وحللوا المشكلة، وخرجوا بخمس خلاصات:

1- إن نهر ريتشل ملوث لدرجة كبيرة بنوعين من التلوث تلوث نقطة المصدر، والتلوث ذوالمنشأ الخارجي.

2- إن سد نهر ريتشل قد قلل بدرجة خطيرة من أعداد السلمون العائدة إلى مواضع التناسل.

3- إن أساطيل الصيد الأجنبية قبالة شواطئ المحيط الهادىء تستنزف اسماك السلمون.

4- إن السكان الأصليين يزيلون اسماك السلمون السابحة في اتجاه التيار وحتى قبل أن تصل الى مدارج سد نهر ريتشل.

5- إن نسبة كبيرة من المياه تسحب سنوياً من النهر بغرض تبريد الماكينات في المصانع المحلية. وبالنسبة للأنهار الكبيرة ذات معدل الجريان السريع عادة ما تستطيع تشتيت الحرارة بسرعة ولا تعاني إلا القليل من الضرر البيئي وذلك ما لم ينخفض معدل سريانها بشكل حاد خلال التقلبات الموسمية. وهذا بالطبع ليس الحال بالنسبة لنهر ريتشل. فالكمية الضخمة من المياه الحارة من المصانع المحلية الواردة لنهر ريتشل ذي السريان البطيء تخلق أثراً ضاراً يدعى **التلوث الحراري**. وفي ما يبدو فإن التلوث الحراري لا يتوافق وسمك السلَّمون. في المقام الأول. ويتسبب إزدياد درجة حرارة المياه في تقليل محتواها من الأوكسجين المذاب وذلك لتقليل ذوبانية الأوكسجين، كما أن مياه النهر الدافئة تجعل الكائنات المائية تزيد من معدل تنفسها واستهلاك الأوكسجين بسرعة، مما يزيد من استعدادها للإصابة بالأمراض، والطفيليات، والمواد الكيميائية السامة. وعلى الرغم من أن السلمون يستطيع ان يعيش في المياه الحارة – إلى حد معين– فإن العديد من الأسماك الأخرى (مصدر غذاء السلمون) لا تتمكن من ذلك. كما أن

المياه الحارة التي تلفظها المصانع تؤثر سلباً على العملية التناسلية وتقتل صغار السلمون.

جهز العلماء اكتشافاتهم وقدموها للمسؤولين في المدينة، الذين قرأوها وكانوا مسرورين بها (في البداية).”آه" قالوا: "الآن نعرف لماذا لدينا سلمون أقل".

ولكن سرورهم هذا لم يدم طويلاً. فالخبراء كانوا بالفعل قد حددوا العوامل المسببة– ولكن ما الحل ؟ نظر العلماء إلى بعضهم البعض وهزوا أكتافهم قائلين: " هذا ليس عملنا. اتصلوا بالبيئيين".

كان السلمون لا يزال يسبح، ولكن ليس أسفل النهر بإتجاه المنبع.

وخلال أيام قليلة وظف مسؤولوا المدينة شركة هندسة بيئية لدراسة مشكلة تناقص السلمون. توصل المشتغلون بالبيئة إلى نفس الخلاصات التي وصل إليها العلماء (وهم أيضاً أوصلوها إلى مسؤولين)، ولكنهم أخبروا قوى المدينة عن المضامين السياسية، والاقتصادية، والفلسفية للوضع. فقد أوضحوا كيف أن التلوث الذي يتدفق على نهر ريتشل بشكل مستمر، في طريقه للزوال وذلك حالما تدخل منشأة معالجة مياه الصرف الصحي الجديدة في الخدمة، وأنه قد تم التخلص من نوع معين من تلوث نقطة المصدر. وشرحوا كيف أن مصلحة الزراعة الولائية، وطاقمها الخاص تعمل سويةً مع المزارعين على طول نهر ريتشل وذلك لتعديل ممارساتهم الزراعية، وأنظمه معالجة المبيدات الحشرية، بحيث تتم السيطرة على أسوا أنواع التلوث ذي المنشأ الخارجي خطورة. وبينوا أن مدارج الأسماك المتوفرة لم تركب بطريقة صحيحة، ولكن يمكن إصلاحها بإضافات تقانة طفيفة.

وشرحوا كيف أن الصيد الجائر من قبل أساطيل السفن الأجنبية، قبالة ساحل المحيط الهادئ، تمثل مشكلة تعمل الحكومة الفدراليه على حلها مع الحكومات المتورطة. وبينوا أن ولاية واشنطن والحكومة الفدراليه تعملان على مجابهة المشكلة المتمثلة في صيد السلمون من قبل السكان الأصليين أسفل النهر قبل

أن يصل إلى السد. فكلا الكيانين الحاكمين، يتفاوضان مع القبائل المحلية بصدد هذه المشكلة، وكيف أن القبائل المحلية على وشك مقاضاة الولاية والحكومة الفدراليه وذلك في شأن من يمتلك حق الصيد في نهر ريتشل والحق في صيد سمك السلمون.

وفي ما يخص المشكلة الأخيرة، التلوث الحراري من المصانع التي تجعل نهر ريتشل غير ملائم للتناسل، وذلك بتقليل مصادر غذاء السلمون وقتل صغاره، فإن البيئيين أوضحوا ضرورة أن يتم تغيير مصبّات المصانع ويتم تحويلها الى مكان آخر. وأوصوا ببناء حوض قناة يمكن منه إطلاق صغار أسماك السلمون الجاهزة في بيئة مناسبة، وذلك في درجات حرارة محيطة مساوية لدرجة حرارة الجدول، ويوفر لها طريقاً ذا اتجاه واحد إلى أماكن آمنة أسفل النهر بحيث تتمكن من النمو إلى أن يحين أوان هجرتها إلى البحر.

وبعد نقاشات، وأعمدة صحفية، طرح مسؤولوا المدينة الأمر للتصويت، وصوتوا لتمويل المشاريع المطلوبة لحل مشكلة السلمون في نهر ريتشل. وقد أظهرت العديد من المشاريع قصيرة الأجل علامات إيجابية للتغيير، والآن المشاريع طويلة الأجل قيد التنفيذ، ونهر ريتشل بات في طريقه للتعافي.

وبإختصار، فان العلماء هم أناس محترفون يجدون "الإجابة" على المشكلة من خلال التحليل العلمي والدراسة. وينصب إهتمامهم على العلم المحض. وبإمكان المشتغلين بالبيئة التوصل الى الخلاصات ذاتها حول المسببات كما العلماء، ولكنهم يضعون في اعتبارهم التأثيرات الاقتصادية، والاجتماعية، والسياسية، والثقافية أيضاً.

ولكن مهلاً، لم ينته الأمر بعد، فالقلق من الإخلال بمجموع جينات سمك السلمون البري وذلك بتفريخ سمك السلمون المرقط لا زال يؤرق بال المشتغلين بالبيئة، والمنادين بالمحافظة على البيئة، وعلماء الأحياء البرية. التفريخ،

أوالسلالات التي يتم تربيتها في المزارع، من أي نوع، عرضة للمشاكل الناتجة، من ضمن أشياء أخرى، عن نقص الاختلاط الجيني الحر، وإنتشار الأمراض، والعدوى، والطفيليات، الى جانب تعزيز الصفات السالبة- عندما تفر أسماك السلمون من المفرخة وتتناسل مع اسماك السلمون البرية، فإن السلالة الجينية تتغير، حيث يمكن للأمراض أن تنتشر... وللعديد من المشاكل أن تنشأ.

علم البيئة والتقانة: الصلة

Environmental Science and Technology: The connection

طالما استمرت الرأسمالية تقود معظم الاقتصادات الحديثة، فإن الناس سيرغبون في المزيد من الأشياء المادية – متسببين في مستوى عال من الاستهلاك. وللأحسن اوللأسوأ، فإن الرغبة البشرية في عيش" حياة رغدة" (التي يفسرها الأمريكيون على أنها الحياة الوافرة بالممتلكات المادية) هي من واقع الحياة. فمن الصعب الجدال مع شخص يرغب في شراء منزل جديد، وحديث، مزود بكل المرافق، واقتناء أحدث وأفخم السيارات. وأصعب منه الجدال مع شخص يريد حياة أفضل لأطفاله بأن يوفر لهم كل ما يحتاجونه ويريدونه للنجاح في مسعاهم الذي يختارون. كيف لك أن تجادل ضد هذه الأهداف مع شخص جنى ثمار مجهوده، وينفق مما كسبه بجهده بالطريقة التي يشاء. ومع ذلك، فالمقايضات عادة ما يكون لها تأثير على البيئة. فالمنزل الجديد الذي يتم شراؤه بنقود تم كسبها بجهد شديد يمكن أن يكون مبنياً على تربة حقل على مستوى عال من غاز الرادون، أو أرض لم يتم تطويرها من قبل. سيارة الدفع الرباعي الحديثة التي تقطع ثمانية أميال للجالون الواحد من الجازولين وحده. والقارب المخصص لعطلة نهاية الأسبوع تقل قدرته على الإبحار لمسافات طويلة، وتتضح منه النفايات في البحيرة المحلية، أو النهر، أو الجدول. ومنتجع عطلة نهاية الأسبوع، ذو الخمس أكرات الغابية، هو جزء من تجمّع الأمطار للمجتمع

المحلي، ويخل بموطن تكاثر وهجرة عدد من الأنواع الحية.

إن المقايضات البيئية لا تشغل بال الشخص العادي. فمعظم الناس لا يفكرون بها. وفي الحقيقة فإن معظم الناس لا يفكرون بالبيئة حتى تأخذ بالتلف، وحتى تصبح قبيحة المنظر، أو ملوثة إلى الحد الذي يمثل إساءة لهم.. وباستطاعة البشر تحمل الإساءة للبيئة، وخصوصاً تلك المحيطة بهم – حتى تفقد قدرتها على إبهاجهم. ونحن نتعامل مع مواردنا بالطريقة نفسها. فكم من المرات فكرنا في الهواء الذي نتنفس، والماء الذي نشرب، والأرض التي تزرع عليها المصالح التجارية الزراعية خضرواتنا؟. ليس بالقدر الكافي.

وجهة النظر الاعتيادية تجاه مواردنا الطبيعية هي التجاهل المتعمد. فقط حين يضطر المرء إلى الإنتظار في صف لملء خزان وقود السيارة، حينها يصبح الجازولين مبعث قلق. وحين يرى – ويشم الهواء الذي يتنفسه، ويسعل حين يستنشقه، حينئذٍ يصبح الهواء مورداً مرئياً. أما الماء، ذلك المذيب العالمي، فلا يسبب لنا أي قلق(والقليل جداً من التفكير) حتى يحدث النقص، أو حتى يصبح فاسداً كلياً، بحيث لا يمكن لشيء ان يعيش عليه أويشربه، فقط حين نفتقد الماء، أو تصبح نوعيته فقيرة للغاية، حينها نفكر في الماء كمورد (يستحق ان نقلق بشأنه). هل التربة مورد أو مجرد "تراب"؟ ما لم تزرع كمزرعة، أو حديقة، فالتربة مجرد "تراب".

إن استعمال الموارد والتدهور البيئي أمران مرتبطان. ففي حين يعتمد البشر على الموارد، ولابد لهم من أن يستخدموها، فإن هذا الاستخدام لا محالة سيؤثر على البيئة. يُعرَّف **المورد** عادة بوصفه أي شيئ يمكن الحصول عليه من البيئة الطبيعية، وله نفع للبشر. بعض الموارد كالنباتات المزروعة الصالحة للأكل، والماء (في عدة أماكن)، والهواء النقي، متاحة للبشر بشكل مباشر. ولكن معظم الموارد مثل الفحم، والحديد، والمياه الجوفية، وحيوانات الصيد، والأسماك ليست كذلك، ولكنها تصبح موارد حين يستخدم البشر العلم والتقانة

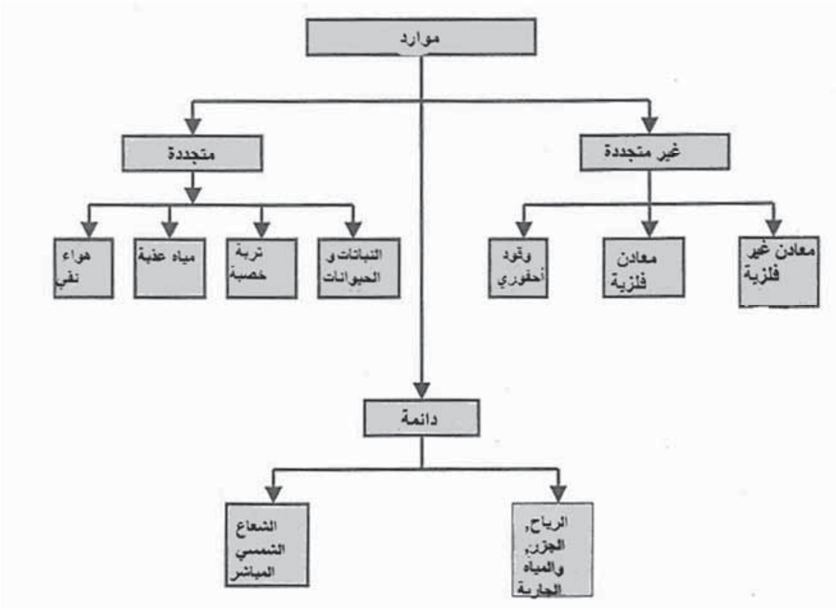
للبحث عنها، ولإستخلاصها، ومعالجتها، وتحويلها، بكلفة معقولة، إلى أشكال قابلة للاستخدام ومقبولة الشكل. فالغاز الطبيعي، الذي يوجد على عمق سحيق تحت سطح الأرض، لم يكن مورداً طبيعياً قبل أن تتوفر التقانة لحفر الآبار، وتثبيت الأنابيب اللازمة لضخه إلى السطح. ولعدة قرون تعثر البشر في برك البترول ذات الرائحة الكريهة، من دون أن تكون لديهم أية فكرةً عن استخداماته الممكنة أو فوائده. وعندما أدركوا إمكانياته، استغل البشر البترول بعد تعلم كيفية استخلاصه، وتحويله (تصفيته) إلى زيت احتراق، وجازولين، ومستخلص كبريت، أسفلت الطرق، والمنتجات الأخرى. تعرف المصادر الطبيعية، والعمليات التي تحافظ على بقائنا، والأنواع الأخرى برأسمال الأرض الطبيعي، ويشمل هذا: الهواء والماء، والتربة، والغابات، والمراعي، والحياة البرية، والمعادن، والدورات الطبيعية. وتعتبر المجتمعات هي المحركات الرئيسية لاستخدام الموارد، وذلك بتحويل المصادر والطاقة إلى ثروة، وإيصال البضائع والخدمات وإنتاج النفايات، أو التلوث. وعادة ما يُوفر هذا المدد من الإحتياجات والكماليات بطرق تؤدي إلى تحلل رأسمال الأرض الطبيعي على نحومنتظم- وكذلك الأنظمة الطبيعية التي تدعم الحياة.

وباستبعاد الموارد الدائمة (الطاقة الشمسية، والمد والجزر، والرياح، والماء الجاري) فهنالك نوعان (صنفان) من الموارد المتاحة لنا: الموارد المتجددة، والموارد غير المتجددة (انظر الشكل صفحة 1، 3)- الموارد المتجددة (الهواء النقي، والمياه العذبة، والأراضي الخصبة، والنباتات، والحيوانات - عبر التنوع الجيني)، يمكن استهلاكها بسرعة على المدى القصير إذا ماتم استخدامها أوتلويثها بسرعة شديدة، ولكن عادة ما يتم استبدالها عبر العمليات الطبيعية وعلى المدى الطويل. ولأن المصادر المتجددة متوفرة نسبياً فإننا عادة ما نتجاهلها، ونتغاضى عنها، وندمرها، ونلوثها، ونسيئ إدارتها.

نسيئ إدارتها ؟ نعم - أن نصنف أي شي كـ(مورد متجدد) سلاح ذو حدين،

فالموارد المتجددة قابلة للتجديد إلى حد معين. الأخشاب والحشائش المستخدمة للرعي يجب إدارتها للوصول إلى المنتوج الأرضي المستدام، (وهو أعلى معدل يمكن عنده استخدام الموارد المتجددة من دون أن نعيق أو ندمر قدرتها على التجدد). وإذا ما تجاوز منتوج الأخشاب والحشائش هذا المعدل، فإن النظام سيعطي عوائد متضائلة على الدوام. كما يعقّد العامل الزمني مسألة التعافي، الذي يعتمد بدوره على دورة الحياة. فالحشائش يمكن ان تجدد نفسها في موسم أو موسمين. بينما تتطلب الأخشاب عقوداً من الزمن. وأي فترة من الزمن تمثل مشكلة حين ينفد صبر البشر.

تذكَّر أن احد العوامل التي أسهمت في محنة نهر ريتشل كانت الصيد الجائر. فحين تتجاوز مصائد الأسماك حدودها، وإذا كانت أعداد الصيد الوفيرة تحفز لصيد المزيد والمزيد من صغار السلمون، فلا مجال هنا للزيادة. وإذا تم اتباع الطريقة نفسها لنوع بريّ فسينقرض. وهكذا لم يعد لدينا المزيد من الحمام الزاجل (الرحال) ولا دجاج هيث، ولا ببغاء كارولينا، أو طيور الدودو، أو طيور الناسك، والأوك –والعديد من الأنواع التي أصبحت قيد الخطر، الآن، بما في ذلك دجاج بريّة أتواتر.



الشكل 1.3 الأنواع الرئيسية للموارد المادية.

دراسة حالة 2.1 Case Study

الحمام الرحال، ودجاج هيث، وودجاج أتواتر البري Passenger Pigeons، Heath Hens، and Attwater's Prairie Chicken

الحمام الرحال (الزاجل) Passenger Pigeons

إن قصة الحمام الرحال درس لا ينبغي لنا أن ننساه، وخصوصاً في ضوء ما يحدث من تفتيت وعزل للمواطن الطبيعية لعدد كبير من الأنواع الأخرى.

كلنا يعرف أن الحمام الرحال كان ذات يوم موجوداً بوفرة تشبه وفرة ثور البيسون، ولكن من دون قوانين منظمة للصيد. وقد تعرض هذا الحيوان للصيد الجائر وانقرض في القرن الثامن عشر، هل هذا صحيح ؟ تقريباً، ولكن قصة الحمام الرحال أكثر تعقيداً من ذلك. ولفهم تلك الفترة الزمنية، وأسلوب التفكير آنئذ، والحمام الرحال، أعتقد أن لا مصدر أفضل من كتاب كريستوفر كوكينو

"الأمل شيء له أجنحة"، وهو سجل زمني للطيور المنقرضة، وكذلك وكتاب تارشر/بنْتام (2000).

للدلالة على وفرة الحمام الرحال، فإن عالِم الطيور ألكسندر ويلسون كان قد شهد سرباً واحداً من الحمام الرحال في أوائل القرن الثامن عشر يتحرك بين كنتاكي وإنديانا. كان السرب يمتد بعرض ميل وبطول 240 ميلاً، أي ما يقدر ب2.2 ملياراً من الطيور. وبصفتها من الكائنات الأصلية، فقد مثّل الحمام الرحال ما يتراوح بين 25 – 40% من تعداد الطيور في الولايات المتحدة آنذاك.

كان الحمام الرحال يتكاثر في مستعمرات ضخمة من أبريل إلى يونيو. وكان الحجم المتوسط للمستعمرة يبلغ حوالى 31 ميلاً مربعاً، على الرغم من أن مستعمرة بيتوسكي، ميتشجان، كانت تغطي أكثر من 200 ميل مربع، ومستعمرة أخرى في ويسكونسن غطت حوالي 850 ميلاً مربعاً في العام 1871 في سلسلة من مواقع التعشيش. فقد استخدمت مواقع التعشيش الكبيرة لقرون من الزمن.

مثله مثل اليمام، كان الحمام الرحال من الطيور المهاجرة. ومثل مناطق التكاثر، فإن مجاثم الطيور هذه قد أستخدمت لعدد من القرون، بحيث تراكم الروّث بسمك ثلاثة أقدام، مما خلق مواقع يرتادها مفترسو الحمام – من الذئاب، وحيوانات الوشق، وحيوانات المنك، والدلق، والثعالب، والدببة، والصقور، والبشر.

كان الاعتقاد العام عن الحمام الرحال أنه مورد لا حدود له. لكن مزيداً من القتل المكثف للحمام (شاملا الصيد بالبندقية، والشِبك، والفخاخ، من أجل السوق) والتدمير الإجمالي لمواطن الطيور المفضلة – فالغابات التي استخدمتها الطيور كمورد أساسي للغذاء تمَّت تعريتها بشكل كامل لصناعة

السفن والزراعة – تسبب في تفتيت وعزل الأسراب الكبيرة وانقراض الطيور بحلول تسعينيات القرن التاسع عشر.

اختفى الحمام الرحال من نيو إنجلند في العام1851. وبحلول عام 1886 إقتصرت أسراب الطيور التي كانت وفيرة في السابق على سربين، أحدهما في اوكلاهوما والثاني في بنسليفانيا. وبنت آخر مستعمرة من الحمام أعشاشها في الولايات الوسط – أطلسية في العام 1868، بنْت أعشاشها لآخر مرة في عام 1889، وفي ولايات البحيرة، بنت آخر المستعمرات الكبيرة أعشاشها في العام 1885، وآخر أعشاشها على الإطلاق في عام 1894. اعتقد الناس أن الحمام الرحال هاجر إلى أستراليا، أو بوليفيا، أو مات جراء مرض فتاك.

وفي الحقيقة فإن عمليات تدمير الموطن– والإزالة الواسعة النطاق لغابات الشرق، التي وصلت ذروتها في عام 1880، وتسببت في أعداد أقل من الشجر المنتج للدفل (خصوصاً أشجار الزان، والاوك، والكستناء)، وغابات أصغر عمراً وغير مناسبة للمستعمرات المتناسلة، بالإضافة إلى الصيد الجائر – وضعت حداً لحياة هذه الطيور. بقيت جزر من المَواطِن ولكن طبيعة الحمام الرحال بأسرابه الضخمة لم تتأقلم على المواطن المفصولة، والمعزولة. وأضحت أعداد المجموعات المتضائلة، والطيور المنفردة، عرضة لحوادث الإفتراس، والطقس السيئ، والتزاوج الداخلي. وأخيراً أوقف الاتحاد الأمريكي لعلماء الطيور بحثه عن أعشاش الحمام الرحال في عيد الهالويين عام 1912.

كان آخر زوج معروف من الحمام الرحال مثاراً للفضول في حديقة حيوانات سينسيناتي. وقد تمت تسميتها جورج ومارثا. وقد مات جورج عام 1910، وماتت مارثا يوم الأربعاء، 1 سبتمبر 1914 (تايلور 2005).

دجاج هيث Heath Hens

كان دجاج هيث من طيور السهول الساحلية، وهي طيور منحدرة من دجاج المروج التي تأقلمت على الساحل، وكانت موجودة بكثرة، من جنوب نيوانجلند

إلى فيرجينيا. عاشت هذه الطيور في أراضي التوت القاحلة في ميْن، وسهول شجيرات الأوك في ماسوشيستس، وفي سهول المنطقة الانتقالية بين البحر واليابسة باتجاه الجنوب.

ومثل دجاج المروج، كان دجاج هيث متوفراً بشكل استثنائي. ولكن الأوربيين سرعان ما استغلوا هذا المورد السهل للغذاء، فقام الصيادون الطامحون في الربح بقتل هذه الطيور في أماكن تناسلها، وهو الأمر الذي دفع العديد منها بعيداً من مواطن أسلافها المزهرة، لقد كان دجاج هيث هدفاً سهلاً في الأشجار المنخفضة، كما كان يتم صيده بكلاب الصيد، وعن طريق الطعم والفخاخ. واستمرت فورة القتل هذه طوال الفترة الاستعمارية وحتى نمو المدن الأمريكية حين تطلبت الأسواق الكبيرة المزيد من الطيور.

لم يوافق الجميع على هذا السلوك، ولم يكن قانونياً بشكل كامل. فقد أراد مشرعو مدينة نيويورك حماية دجاج هيث في وقت مبكر منذ عام 1708. ولم تثمر هذه المحاولات لحماية الطيور : ففي عام 1831 أغلقت ولاية ماسوشيستس الصيد الربيعي، ولكن التنفيذ كان أضحوكة ، فغرامة دولارين كانت تماثل قيمة السوق لزوج من الطيور.

إستمر الصيد خلال أوائل القرن التاسع عشر وحتى عندما بدأت الطيور تترنح باتجاه الانقراض، إستمر هواة التحنيط وجامعوا الطيور بدفع المال لصيادي دجاج هيث.وفي حين كانت هذه المذبحة أمراً سيئاً، فإن تدمير الموطن كان أسوأ بكثير. والمتهمون الرئيسون هما الإستيطان البشري، وإخماد الحرائق.

في العام 1830 كان تعداد سكان نيويورك 200000 نسمة، وبوسطن 60000 نسمة، و80000 وواشنطن العاصمة 190000 أخذت كل واحدة من هذه المدن أرضاً من وسط موطن دجاج هيث، واحتلت بنايات المدن التحتية المزيد. ولفترة وجيزة من الزمن ساعدت الأرض المجردة من الأشجار دجاج هيث، فقد وفرت هذه الأرض موائل جديدة للتناسل، والمزيد من العلف، وأخيراً

المحاصيل، ولكن سرعان ما بدأ فقدان الموطن في الحد من تعدادها.

كان إخماد النيران لعنة أخرى. ففي المروج، ولعدد من القرون، كانت النيران التي تحدث طبيعياً تنظف الموائل ذات الشجيرات القصيرة، والمروج التي تفضلها الطيور. وسمح اخماد النيران لهذه المناطق بان تنمو إلى غابات، وسمح للأخشاب القابلة للاشتعال بأن تتراكم، الأمر الذي جعل النيران أقوى تدميراً للحياة البريّة والبشر.

كانت المحصلة النهائية أن اختفى دجاج هيث من نيوهامبشير في عام 1970، ومن ماسوشيستس ووادي كنتيكت بحلول 1815، ومن منطقة وسط الأطلسي عام 1870، كان كرْم مارثا، الذي عانى من المصاعب ذاتها التي واجهت البر الرئيسي، آخر معاقل هذا الطائر. وفي ربيع 1929 لم يتبقَ سوى ذكر واحد، نجا وحيدا لعامين آخرين. وكان يظن أنه بلغ 8 سنوات من العمر، وهو عمر جدير بالملاحظة لأي طير من رتبة الدجاج (تايلورTaylor 2005).

دجاج أتواتر البري Attwater's Prairie chicken

هل سيقتفي دجاج أتواتر، وهو دجاج المروج الوحيد المتبقي المتأقلم في حياة الساحل، أثر دجاج هيث نحو الإنقراض؟ تفصل مقالة دوغلاس – شادويك "عقلة أصابع اليد"والصادرة في مجلة "ناشيونال جيوغرافيك" عدد مارس/آذار 2002 مشاكل دجاج أتواتر: فمن تعداد وصل إلى ما يربو على مليون طائر في بداية القرن العشرين، انخفضت أعدادها إلى 9000 بحلول العام 1973، واليوم لا يوجد سوى عشر ذكور وعشرين من الإناث في البرية. تعيش هذه الطيور في رقعتين منفصلتين من الأراضي العشبية بمساحة 12000 أكرة في تكساس، وهي ما تبقى من ستة ملايين أكرة من المروج الساحلية، أي حوالي 1% من مساحة تكساس الأصلية. خلال أواخر الثمانينيات من القرن العشرين ضربت ثلاث سنوات من الجفاف متبوعة بثلاث سنوات من العواصف مواسم

التناسل لدجاج أتواتر، فقتلت خمسمائة طير في مقاطعة واحدة. وفي وجود ما يقل عن 50 طيراً في جزر صغيرة من الموطن، فإن الخطر الأكبر بات الآن يأتي من الحيوانات المفترسة، مثل الصقور والبوم، وذلك بحسب علماء الأحياء، كمايك مورو.

تقوم جامعة تكساس، وأربع حدائق حيوانات، ومتنزه سي وورلد، وفوسل رم بتربية دجاج أتواتر في الأسر، وتطلق ما يقارب 100 طير للبرية سنوياً. ولكن 2% لاغير منها ينجو، وذلك بسبب سوء جودة الموائل. فالجزر الصغيرة من المروج الطبيعية المتبقية لا توفر مساحة كافية للطيور ولمفترسيها. ورغم ذلك فإن الطيور التي تمت تربيتها في الأسر هي كل ما بقي من هذا النوع من الطيور على قيد الحياة.

كذلك يشكل ضعف المعرفة العامة بهذا الطير مشكلة أخرى، فقد بات من الصعب جمع الأموال اللازمة للأبحاث الحقلية والتربية في الأسر. كما أن خطط إعادة وصل المناطق المعشبة الساحلية، التي قد توفر موطناً إضافياً للطيور تلقى زخماً ضئيلاً. تأمُل خدمة الأسماك والحياة البرية والحفاظ على البيئة في الولايات المتحدة في أن تشتري مواطن إضافية للطيور. إلا أن مثل هذه المجهودات تتطلب، بالطبع، مالاً وزمناً– وهما الشيئان اللذان لا تملكهما طيور الأتواتر بالضرورة.

إن تجاوز المنتوج الأقصى المستدام هو وحده قمة جبل الجليد – إذ قد تنشأ مشاكل بيئية، وإجتماعية واقتصادية. دعنا نلقي نظرة على **الرعي الجائر** (إستنزاف الاعشاب) في مراعي الماشية. تبدأ المشاكل الأولية حين يتم إستنزاف الأعشاب والغطاء العشبي. ولكن المشاكل الثانوية سرعان ما تبدأ هي الأخرى. فمن دون الاعشاب تتعرى التربة بسرعة. وفي زمن وجيز يكون جزء كبير من التربة قد اختفى بحيث لا تعود قادرة على إنبات الاعشاب – أو انبات أي شئ آخر. تَحّول الأرض المنتجة إلى صحاري غير منتجة (التصحر) هي

عملية تدهور بيئي تؤثر على عوامل إجتماعية واقتصادية. فأولئك الذين يعتمدون على المراعي لابد أن يرحلوا، والرحيل يكلف وقتا وطاقة ومالاً، ويعرض المزيد من الأراضي للخطر. فهل ينبغي استمرار خطر سوء إدارة الموارد الارضية نفسه في تدمير المزيد من الافدنة؟

إن التدهور البيئي ليس مقصوراً على السَلموَن والأعشاب. ودعنا نلقي نظرة على القليل من الأمثلة. فبالاضافة لصيد الاسماك والرعي الجائرين، يمكن أن تتعرض الأرض للزراعة الجائرة. فالزراعة الجائرة المكثفة تقلل من المواد المغذية في التربة، وتزيد من التعرية للحد الذي يقلل من إنتاجية الأرض الزراعية ويقود إلى الإفراط في استخدام الأسمدة، والتي تقود بدورها إلى تدمير الإمداد المائي. واذا استمر ري الارض الزراعية من دون تصريف ملائم، فإن تراكم الماء والأملاح في التربة سوف يؤدي إلى تقليل الإنتاجية. يحدث التدهور البيئي حين تزال الأشجار من مناطق واسعة من دون إعادة تشجير كافية، والنتيجة هي تدمير مواطن الحياة البرية، وزيادة تعرية التربة، والسيول. وإن تجزئة المواطن مشكلة أخرى متعلقة بتدمير الموئل. فعندما تتم تجزئة الموطن تتناثر الأنواع التي تحتاج أن تكون بعيدة من النشاط البشري. خذ، على سبيل المثال، دجاج المروج العظمى والصغرى في كنساس.

إن دراسة الانبعاثات اللاسلكية توضح لنا أن دجاج المروج حساس جداً للنشاط البشري. فهو يندر أن يقرب الأعشاب التي توجد على بعد دائرة قطرها ربع ميل حول بيت مأهول. يعني ذلك أن منزلاً مبنياً على مساحة فدان واحد يتسبب في فقدان 160 فداناً من مواطن الطيور.

ولكن على الرغم مما سبق فإن الإستيطان البشري ليس العامل الوحيد. فمنشأة ضغط الغاز الطبيعي – والتي يوجد الكثير منها في جنوب غرب كنساس–هي منشآت ذات صخب وقعقعة، وهي عادة ما تمتد على عدد من الأفدنة. ولا تستخدم الطيور أي موطن يقع على مسافة نصف ميل من هذه المناطق–

الشيئ الذي يعني فقدان 640 فداناً أخرى. كذلك يندر أن يغامر الدجاج بأن يقترب مسافة ميل من منشآت توليد الطاقة التي تعمل على الفحم على الرغم من أن مواطن الأعشاب في المناطق المحيطة بهذه المنشآت قد تكون الأفضل. هذا وتبتلع منشأة طاقة ذات مساحة تبلغ 30 فداناً ما يصل إلى 2500 فداناً إضافية من مواطن الدجاج. فضلاً عن ذلك، فان دجاجات المروج الصغرى نادراً ما تبني أعشاشها أو تربي فراخها في مواطن تقل مساحتها عن 2000 إلى 4000 فدان، أو أن تعيش في أماكن تشقها الطرق التجارية التي يكثر ارتيادها. وبعملية رياضية بسيطة، سنكتشف بسرعة كبر حجم المشاكل المتعلقة بصيانة وتوفير مساحات مفتوحة من المواطن الملائمة للدجاج (تايلور Taylor، 2002).

من ناحية أخرى تتدهور الاراضي بيئياً مع تمدد المناطق الحضرية. ففي المناطق شديدة التحضر تغطى الأراضي المنتجة بالأسمنت، والأسفلت، والمباني، والماء، والطمي لدرجة تنخفض فيها الإنتاجية الزراعية ويضيع موطن الحياة البرية. (أنظر المثال المعطى في دراسة الحالة3.1).

دراسة الحالة 3.1

الآميش ومقاطعة لانكستر، بنسلفانيا

Case Study

The Amish and Lancaster County Pennsylvania

حظيت مقاطعة لانكستر في ولاية بنسلفانيا بإمتلاكها بعضاً من أفضل أراضي المزارع غير المطروقة. كما تمتلك لانكستر معدلاً أعلى من متوسط زمن سقوط الندى، وحتى عندما تكون المقاطعات المجاورة لها في حالة جفاف، فإنها تكون قادرة على إنتاج محصول معقول. ولعدد من السنين، كانت الزراعة هي الحرفة الأساسية التي يمارسها مزارعو الآميش باستعمال الحد الأدنى من التقانة، أي

ثلة من البغال، بالإضافة إلى جيرانهم وعوائلهم.

لازالت مقاطعة لانكستر تحتفظ بتعداد كبير من مزارعي الآميش الذين لا تزال أعدادهم في إزدياد مستمر. فأولئك الذين يزرعون ينتجون محاصيل ذات ريع عالٍ، وعمالة مكثفة، ويزرعون ما يحتاجونه لاستخدامهم الخاص في حدائقهم. ولكن الزراعة لم تعد حرفتهم الاساسية، إذ إن أكثر من 50% من الأميش يعملون (من دون رغبة) في أشغال أخرى غير الزراعة. لماذا؟ ارتفعت أسعار العقارات في السنوات العشرين الاخيرة حول مقاطعة لانكستر بشكل حاد. فتكلفة الفدان الواحد من الأراضي الزراعية الجيدة تعني أن مزرعة صغيرة معروضة للبيع قد تشترى في سوق العقار بأسعار فلكية. لماذا ؟ لأن في قاطعة لانكستر منطقة سياحية مشهورة. ويرغب المطورون الذين يرون الزيادة في تجارة السياحة زيادة في المفاتن السياحية التي يمكن أن يقصدها السواح. ويفد معظم السواح إلى مقاطعة لانكستر ليعملوا شيئين: لمشاهدة الأميش، أو التبضع من المنافذ التجارية.

عقَّد النمو المحلي من المشكلة، فقد وسع النمو الصناعي والتدفق البشري خلال العشرين عاماً الأخيرة هذه المقاطعة بشكل سريع، وبالأخص توسعت منطقة مدينة لانكستر وما حولها.

وبسب قربها من فلادلفيا، وبالتيمور، ومنطقة واشنطن العاصمة، فقد توسع تعداد سكانها بسرعة، متبوعاً بتوسع المباني التجارية والسكانية. والعديد من هولاء السكان لا يرغبون في السكن في المدينة حيث المنازل المصفوفة، على الرغم من وجود مئات المنازل الفارغة المعروضة للإيجار. فهم يرغبون في العيش في منازل جديدة لها أفنية واسعة، وبقربها مدارس الضواحي. كما أنهم لا يرغبون في التسوق من وسط المدينة حيث تعاني التجارة من الركود وتكثر واجهات المحال الفارغة والمحال التجارية ذات النجاح المؤقت. فهم يرغبون في التسوق من منافذ التسوق في بارك ستي، أوفي الأسواق المفتوحة في الجوار.

"وما المشكلة في هذا كله ؟" إختر ما يناسبك.

- لم يعد باستطاعة الأميش شراء الأرض لكي يزرعها أبناؤهم. فهم الآن يتكتلون سويةً لشراء الأرض بشكل تعاوني، وعلى الرغم من أن طرقهم الزراعية تسمح لهم بالزراعة المربحة، فليس في استطاعتهم منافسة المطورين في أسعار المنتج بحساب تكلفة الفدان.
- في كل عام يتم تجريف المزيد من الأراضي الزراعية الممتازة لكي تبنى مكانها مجمعات صحية ومنافذ تسوق ومجمعات ترفيه، ومبانٍ غير مطورة. وفي حين هاجرت القاعدة الضريبية لمدينة لانكستر نحو الضواحي، ماتت المدينة ميتة بطيئة، وأندثرت المزارع المحلية كما اضمحلت مواطن الحياة البرية.
- شمل التمدد المدني للانكستر ماكان قبل سنوات قليلة مدناً منفصلة تبعد خمسة أوستة اميال من بعضها البعض. كما أن الإنشاءات الجديدة المكتظة بالمنازل، ومراكز التسوق المفتوحة، وموزعي السيارات قد شغلت هذه المساحات ودمرت الأراض الزراعية التي كانت تغطيها.
- فهذا النمو كله قد تغول على ما كان في السابق حقولاً للحنطة والتبغ – أراضي للزراعة. فبعد أن تبني أسواقا مفتوحة على الأراضي الزراعية، فإن تلك الأرض لا تعود صالحة لإنتاج أي شئ. من الصعب حراثة الأسفلت.
- أما اولئك المزارعون الذين بقوا فيتوجب عليهم استخدام كل بوصة من أراضي المحاصيل تلك. فهم يحرثون ويزرعون حتى أطراف الطرق، ويزيلون كل ايكة وصفوف الأسوار المتبقية، مدمرين بذلك مواطن طرفية قيمّة من الأراضي الزراعية التي كانت تدعم حيوات الطيور المغردة، طيور الذيتال، والسمان، وصغار الثديات في ما مضى.
- سرعان ما يدرك الناس الذين قدموا للسكن في المنازل التي بنيت على

مزارع سابقة كراهيتهم للروائح المبنعثة من المزارع التي لا زالت في الجوار. وفي بعض الاحيان ينجرفون بحيث يرفعون هذه القضايا إلى المحاكم.

- تعاني الأراضي المنخفضة من خطر الفيضانات. فعندما تصبح الأراضي المرتفعة، والتي كانت مفتوحة في السابق مغطاة بالأسفلت، فإن الجريان السطحي سرعان ما يغمر الغدران الموجودة في الأسفل، مما يخلق مسطحات فيضية في مناطق لم تكن قط في خطر من الفيضان.
- تتسبب الإنشاءات في افساد الجداول المحلية باطلاقها كميات من الوحل والتراب في الجداول، الشيئ الذي يغير الموطن ويقلل من جودته.
- صمم نظام الطرق ليستوعب معدل نمو منخفض (بناءً على التوقعات السائدة حين بنيت هذه الطرق قبل أربعين سنة)، إلا أنها الآن مكتظة ومختنقة بالزحام. فالمسار 30 من غاب إلى لانكستر (الذي يمتد بطول 15 ميلاً) قد يستغرق قطعه ساعتين من الزمن في موسم السياحة، وسط زحام مروري خانق.
- تستمر غازات العوادم بالتراكم حتى يصبح الهواء رمادي اللون، مما يضطر الناس لإغلاق نوافذ سياراتهم وتشغيل مكيفات الهواء حتى لا يستنشقوا الهواء الملوث، بينما ينتظرون في الزحام ومحركات سياراتهم تدور. أصبحت الأيام التي يطلق فيها التحذير من تلوث الهواء شائعة، خصوصا في شهور الصيف.

إن الناس عادة ما يتعامون عن ظروفهم في بعض النواحي. لقد تغيرت مقاطعة لانكستر بشكل كبير خلال السنوات الثلاثين الأخيرة، أوحتي خلال العشر سنوات الاخيرة، فقد سمح سكان مقاطعة لانكستر بنمو وتوسع حرين

على مدي سنوات. الآن تدرك لانكستر هذه المشاكل وتعمل على مكافحتها إذ أصبحت هناك برامج للمحافظة تم تصميمها لإبقاء الأرض الزراعية للزراعة، ولكن التمويل المتاح محدود، في حين يحصل المطورون على قروض البنوك.

يدرك السكان المحليون أن مورداً طبيعياً بدأ في التسرب من بين أيديهم، ولكن المشكلة تعقدت بفعل الاقتصاد المحلي، والسياسة، والعوامل الاجتماعية، والدين، والحكومة، والتجارة، بالإضافة إلى العديد من المصالح المالية لأطراف من خارج المقاطعة. فأي تصرف ناجح يُتخذ للحفاظ على الأرض الزراعية أومناطق الحياة البرية في موقع ما تتم معارضتة بخسارة في موضع آخر. هل ثمة حل ؟ نعم. يمكن حل هذه المشاكل، ولكن لفعل ذلك، لابدّ للناس الذين لا يرغبون بالاتفاق من أن يعملوا سوياً – الناس الذين يعملون في السياسة المحلية، والتجارة، والدين.

تكونت الموارد غير المتجددة (النحاس، والفحم، والصفيح، والنفط، وغيرها) عبر فترة زمنية جيولوجية طويلة. ولا يمكن أن تستبدل بناءً على رغبتنا– إذ يحتاج إستبدالها إلى فترة زمنية تماثل تلك التي احتاجتها لكي تتكون في المقام الأول. وفي عصر التقانة المتقدم هذا كثيراً ما نسمع، على سبيل المثال، أنه عندما ينفذ خام الصفيح ذو الجودة العالية (عندما تتم إزالة واستخدام 80% من المدد الكلي) فإن استخدام خام الصفيح ذي الجودة المنخفضة (العشرين في المائة المتبقية) يصبح ممكناً بصورة اقتصادية. تتجاهل هذه الرؤية الخاطئة حقائق نضوب مصادر الطاقة وزيادة التلوث عند استخدام الخامات ذات الجودة المنخفضة. وباختصار، فإن تحديد موضع هذه العشرين في المائة من الخام واستخلاصها، ومعالجتها سيكلف، عموماً، أكثر بكثير من قيمتها. وحتى في وجود إمداد غير محدود من الطاقة (وهو أمر غير ممكن بحسب قوانين الفيزياء الحرارية التي سنناقشها لاحقاً). ماذا لوكان بوسعنا إستخلاص ال20% المتبقية؟ فعندما تنفذ لا شئ يستطيع إرجاعها ما عدا زمن يحسب بالقرون

وآلاف السنين مقروناً بالعناصر المنتجة للموارد.

سمحت لنا التطورات التكنولوجية أن نخطو خطوات عظيمة تجاه "الحياة الكريمة". ولكن هذه التطورات نفسها قد ساهمت في التدهور البيئي. ولكن ليست كل الأخبار سيئة. فقد سمحت لنا هذه التطورات (عبر إعادة التدوير واعادة الاستخدام) بالمحافظة على الموارد المحدودة –الألمونيوم، والنحاس، والحديد، والبلاستيك، والزجاج، على سبيل المثال. تشمل **إعادة التدوير** تجميع عناصر النفايات االمنزلية (علب المشروبات المصنوعة من الألمونيوم، على سبيل المثال) ومعالجة الأجزاء القابلة للاستخدام. في حين تشمل **إعادة الاستخدام** (reuse) استخدام المصدر بشكل متكرر وفي نفس الهيئة (زجاجات المشروبات التي تعاد تعبئتها، والماء).

لقد ناقشنا "الحياة الرغدة " سابقاً – المنازل العصرية، والسيارات الفاخرة، والقوارب، وذلك المنزل الثاني في البرية – فمع الإستنزاف المستمر للموارد الطبيعية سترتفع الأسعار بحيث يصبح الحصول على الحياة الرغدة أو إتخاذ أي خطوة في سبيل الحصول عليها أمراً صعباً أو مستحيلاً من ناحية اقتصادية، وتصير إستدامتها أمراً محفوفاً بالمخاطر.

إن الاستغلال القاسي للموارد الطبيعية والبيئية – كالصيد الجائر للأنواع المتضائلة (انظر لتعداد غير محدود من الأنواع البحرية، على سبيل المثال)، والاستخدام الكثيف للطاقة والموارد المعدنية، وزراعة الأراضي الطرفية من دون استخدام ممارسات ملائمة للمحافظة عليها، وانهيار المواطن بسبب المجتمعات الغير متوازنة أوالأنواع الدخيلة، والمشاكل الناجمة عن التطورات التكنولوجية اللاحقة– ستتسبب كلها بالتدهور البيئي وفي تحويل " الحياة الرغدة " إلى شئ لا نرغب حتى في التفكير فيه.

إذاً، ما هي الإجابة ؟ ماذا نحن فاعلون؟ ماالذي يتوجب علينا فعله ؟ هل بمقدورنا فعل أي شئ بهذا الخصوص ؟

يفضل البعض منا " العودة للطبيعة". يقترح هؤلاء الناس العودة إلى نسخة أكبر من بركة والدين لهنري ديفيد ثورو، أي أن نتخلى عن الحياة الرغدة التي تعودنا عليها. فهم يعتقدون أن التخلي عن السيارات، والقوارب والمنازل الضخمة، والجرافات التي تسهل من أعمال البناء والزراعة، والمبيدات الزراعية التي تحمي محاصيلنا، والأدوية التي تحسن من صحتنا وتنقذ حياتنا – ومجموعة التحسينات المادية التي تجعل حياتنا مريحة ومنتجة– ستحل المشكلة. لكن هل توفر هذه المقاربة الحل؟ وهل هي واقعية لأقلية صغيرة من الناس (ذوي الصوت العالي ومن غير العمليين) يبدو الأمر كذلك.

لبقيتنا، هذا مجرد حلم، مبني على العاطفة لا المنطق. فهذا الأمر غير ممكن، ولا يجب ولا ينبغي له أن يحدث. فلا يمكن أن نهجر السفينة بل يجب أن نمنع الحاجة إلى هجر مجتمعنا يحصل أبداً. لقد ساعدت تطورات التقانة على ازدهار حضارتنا، وستستمر في فعل ذلك. ليست المشكلة في التطورات التقانية بل في الاستخدام غير الملائم لها. ولكن يجب أن نستمر في صنع هذه التطورات، وأن نجد لها استخدامات أخرى، كما يجب أن نتعلم استخدامها لخير البشر والبيئة. ينبغي للتقانة أن تعمل جنباً إلى جنب مع البيئة، لا أن يتعارضا أو كذلك يتوجب علينا أن نحترم ونعتني بما تبقى لنا.

ما مقدار سوء المشاكل المتعلقة بالتقانة على البيئة ؟ لقد أنتجت لنا تطورات التقانة تحولات ضخمة وتلوثاً للبيئة. وفي حين أن التحولات تكون واضحة بشكل صارخ (مثل بناء سد على نظام نهري، على سبيل المثال) فإن "التلويث" أو"التلوث" لا يكون جلياً بنفس القدر. ماذا نقصد بالتلوث؟ إن التلوث يعني أن نفسد نقاء مادة أوبيئة ما. تلوث الماء وتلوث الهواء يشيران إلى تغيير في المكونات الطبيعية للهواء والماء (جودتها البيئية) وذلك بإضافة مادة دخيلة (الجازولين، ومياه المجاري).

تشمل ممارسات التقانة التي ساهمت في التحولات البيئية والتلوث :

- إستخلاص وإنتاج ومعالجة الموارد الطبيعية الخام، مثل المعادن، مع ما يصاحبها من إخلال بيئي.
- تصنيع كميات ضخمة من المنتجات التي تستهلك كميات مهولة من الموارد الطبيعية وتنتج كميات ضخمة من النفايات الخطرة وملوثات الماء والهواء.
- الممارسات الزراعية التي ينتج عنها استخدام مكثف للأراضي، وللري، ولتصريف المياه من الأراضي الرطبة واستخدام المواد الكيميائية.
- إنتاج الطاقة واستخدامها مصحوباً بإخلال وتلويث التربة من خلال تعدين أجزاء من الأرض، وانبعاث ملوثات الهواء وتلويث الماء بإطلاق الملوثات الناتجة من إنتاج البترول وتأثير المطر الحمضي.
- ممارسات النقل (خصوصا الإعتماد على الطيران) والذي يتسبب في تشويه أسطح الأرض ببناء المطارات، وزيادة ملوثات الهواء، وتنامي الطلب على موارد الطاقة بشكل كبير.
- ممارسات النقل (خصوصا الاعتماد على السيارات) والتي تتسبب في فقدان الأراضي من خلال تشييد الطرق وبناء المخازن، وإنبعاث ملوثات الهواء، وزيادة الطلب على موراد الوقود (الطاقة) بشكل كبير.

في أجزاء هذا الكتاب كلها، سنناقش الجوانب المهمة في تأثير التقانة على البيئة.

عندما يرتبط العلم والتقانة بشكل وثيق فانهما يقدمان الحلول When Properly Connected, Science and Technology Offer Solutions

عندما تستند التقانة إلى أساس متين من العلم البيئي والفهم العام، فإنها يمكن أن تستخدم في حل المشاكل البيئية. وبإختصار فإن الهدف هو إنتاج عمليات تصنيعية يكون لها أدنى تأثير بيئي ممكن. لقد تم عرض هذه العملية بجدارة في إعادة تصميم العمليات الصناعية

القياسية. ففي التصاميم الجديدة والصديقة للبيئة، تركز الممارسات الإنتاجية على تقليل المواد الخام، واستهلاك الطاقة وإنتاج النفايات. وفي التصميم المعاد، فإن أجدى التقانات هي أن تنشئ عمليات تصنيعية تستخدم المواد الخام والطاقة بطرق تخفض من تأثيرها على البيئة. فعند معالجة المواد الكيميائية، يمكن تعديل التفاعلات لتصبح أكثر رفقاً بالبيئة. التغيير الأساسي الآخر يكمن في استخدام المواد الخام والماء. فالعملية التصنيعية الصديقة للبيئة تصمم بحيث يعاد تدوير المياه والمواد الخام. كما يجب تطبيق أحدث التقانات لتقليل انبعاثات الهواء، والماء، والنفايات الصلبة. وهنالك قلة من الطرق التي يمكن من خلالها استخدام التقانة لتقليل الأثر البيئي وتتمثل هذه الطرق بـ:–

- استخدام أنظمة استعادة النفايات الحرارية للحصول على أقصى استخدام للطاقة، ولزيادة الفعالية، والحصول على أقصى استغلال للوقود.
- استخدام الميكنة الدقيقة، وأنظمة المعالجة (بالليزر، على سبيل المثال) لتقليل إنتاج النفايات.
- تحسين عمليات المعالجة لزيادة الفعالية.
- استخدام المواد التي تقلل التلوث.
- استخدام أنظمة التحكم المحسوبة للحصول على أقصى فعالية للطاقة، وأقصى استغلال للمواد الخام، وأدني إنتاج للملوثات.
- تطبيق العمليات التي تسمح بأقصى حد من إعادة تدوير المواد وأدنى درجة لإنتاج النفايات، و
- تطبيق التقانات المتقدمة لمعالجة النفايات المنتجة بفعالية.

إن تطورات التقانة تتسم بتتابع تطوري. فكل تطور يبنى على سابقة لينتج

(ليطور) تقانة تتفوق على سابقتها. إن تطبيقات التقانة على التحسينات البيئية (الصلة) المتاحة لنا اليوم تناقش في جميع أجزاء هذا الكتاب. إلا أنه على الرغم من ذلك، ولكي تحدث تحسينات بيئية، لا بد من استخدام التقانة.

دراسة حالة 4.1
الشركات المتعددة الجنسيات والتلوث البيئي
Case Study
Transnational Corporations and Environmental Pollution

تقود الشركات متعددة الجنسيات الاقتصاد العالمي والأسواق. فهذه الشركات العملاقة على الرغم من أنها توفر القاعدة المالية للصناعة، والتعدين، والتوزيع، والمعرفة التقانية، والزراعة، والتجارة، فإنها متورطة بشكل كبير في معظم الكوراث البيئية الخطيرة. فإذا ما اعتبرنا سجل التلوث الذي تولده هذه الشركات في الولايات المتحدة، وما اضطر رعاة البيئية لفعله لمنع التلوث وإساءة استخدام البيئة، فإن هذه القضية الواحدة، والتي تحمل في طياتها القابلية للتناسخ آلاف المرات، ربما تكون أكبر مشكلة بيئية في القرن الحالي.

توسع العولمة من الأنشطة الخطيرة على البيئة حول العالم. فهذه الشركات عادة ما تنقل ممارساتها الصناعية التي تستقطب الإنتباه البيئي إلى دول العالم الثالث حيث تدفن النفايات التي منعت في بلدها من إطلاقها إلى البيئة. وتقوض التجارة العالمية والإستثمار من محاولات دعاة البيئة لكبح إساءة الاستخدام، والقضايا التى تحظى بتأييد في الولايات المتحدة يمكن نقضها في المنظمات العالمية لأسباب مالية. كما ساعدت الاقتصاديات العالمية في تحويل التلوث البيئي إلى مشكلة عالمية – وهي مشكلة تتطلب بالضرورة حلاً عالمياً. ودعاة البيئة لن يكونوا قادرين على خوض هذه

المعركة وحدهم. فلا بد لمجتمع عالمي مكون من أعضاء متنوعين كالعلماء، والفنانين، والإتحادات النقابية، والمسؤولين المنتخبين، والمحامين، والمستهلكين، وناشطي البيئة، بالإضافة إلى الناس العاديين في الدول المتأثرة، من العمل سويةً لحل هذه القضية على الرغم من وجود الإنقسامات والحدود الطبيعية منها والإجتماعية.

المرجع Reference

جي، كارلنر (J, Karliner) "الرحال في العالم الثالث". و"مفترسات الأرض" مجلة دولار آند سنس، عدد يوليو، أغسطس 1998. www.infoasis.com

موجز الفصل Chapter Summary

عندما ترمي حجراً في بركة ساكنة فإن الأمواج الصغيرة الناتجة تتحرك في دوائر، بدءاً من نقطة إصطدام الحجر بالماء. وفي النهاية فإن هذه الأمواج الصغيرة تنتشر لتصل حافة البركة، وعندها تتكسر، وتخل ببيئة الشاطئ. وعندما نغير بيئتنا فإن عواقب مشابهة تؤثر على العالم من حولنا، وبعض هذه الأفعال يمكن/أو سوف يشعر بها عبر العالم. نحن نستخدم التقانة لتغيير بيئتنا بما يناسب احتياجاتنا. ويمكننا من أن نستخدم التقانة نفسها بحيث نحمي بيئتنا من خسائر لا يمكن تعويضها. لابد لعلماء البيئة من أن يتوفروا على إحساس مرهف بالوعي بالعواقب العالمية للمشاكل التي نخلقها للبيئة – كيف نوسع حدود المشكلة إلى ما وراء باحتنا الخلفية..

أسئلة للمناقشة Discussion Questions

1- عرف العلم، وعلم البيئة، وكيف يختلفان ؟ سَمِّ وناقش الجوانب المتعلقة بمشكلتين بيئيتين محليتين، أو إقلميتين، أو وطنيتين، أو عالميتين. إشرح إجابتك.

2- لماذا يكون من التعقيد بمكان إيجاد حل للنزاعات البيئة ؟ اشرح إجابتك.

3- صف العلاقة بين استخدام الأراضي في لانكستر والمشاكل البيئية في هذه المقاطعة.

4- ناقش الإنقراض فيما يتعلق بالموطن، والمنتوج الأقصى المستدام، ورأس المال الطبيعي.

5- ما هومستقبل دجاج مرج أتواتر؟ ولماذا ؟

6- ما هومستقبل الأميش في لانكستر؟ ولماذا ؟

7- من المشاكل البيئية المحلية، أوالعالمية، أيهما يمكن أن تحل من قبل العلماء وحدهم؟ إشرح ذلك. وإذا كان العلماء لا يستطيعون حل هذه المشكلات بمفردهم فما نوع المعرفة (من العلوم الإجتماعية، أو السلوكية، أوالفنون، أو العلوم الإنسانية، أو أي مصدر آخر) التي نحتاجها لتطوير حلول مقبولة ثقافياً؟

8- هل تعتقد أن المجتمع الذي تعيش فيه يتبع مساراً لا يمكن إستدامته ؟ إشرح.

9- إشرح لماذا تتفق مع، أو تختلف مع الطرح التالي : سيفقد العالم موارده المتجددة وذلك لأننا **لا نستطيع** استخدام التقانة لإيجاد بدائل.

مواضيع ومشاريع بحوث مقترحة

Suggested Research Topics and Projects

- القضايا الإجتماعية التي تعمل بغرض التأثير على البيئة، ومدى فعاليتها
- الأفعال السياسية التي تؤثر على البيئة، وتاريخ هذه الافعال ونتائجها.
- التغيرات الثقافية في ما يتعلق بالمعتقدات البيئية.
- مشاكل سمك السلمون (أوالأسماك ذات الصلة).

- العلاقات بين الاستهلاك، والرأسمالية، والبيئة.
- حالة البحث الراهنة في ما يخص استبدال استخدام المصادر غير المتجددة بالمصادر الدائمة والمتجددة.
- تأثير "الحياة الرغدة" على البيئة.
- التاريخ الطبيعي لدورة الحياة للأنواع المنقرضة: الحمام الرحال، دجاج هيث، طيور الأوك – وكيف تفاعل سلوكها الغريزي واحتياجاتها في مجابهتها مع المجتمعات البشرية.
- تأثير تدمير نوع معين من الموطن (مروج الحشائش الطويلة أو القصيرة، على سبيل المثال)، على المجتمعات المتعددة المتأثرة.

Cited References المراجع المثبتة

Leopold, A. *A Sand County Almanac*. New York: Ballantine, 1970.
Miller, G. T. *Environmental Science*. 10th ed. Australia: Brookscole, 2004.
Taylor, J. D. *Gunning the Eastern Uplands*. Lancaster, Pa.: Bonasa Press, 2005.
———. *The Wild Ones: A Quest for North America's Forest and Prairie Grouse*. Lancaster, Pa.: Bonasa Press, 2002.

Suggested References مراجع مقترحة

Allaby, A., and M. Allaby. *The Concise Dictionary of Earth Sciences*. Oxford: Oxford University Press, 1991.
Arms, K. *Environmental Science*. 2nd ed. Saddle Brook, N.J.: HBJ College and School Division, 1994.
Baden, J., and R. C. Stroup, eds. *Bureaucracy vs. Environment*. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1981.
Botkin, D. B. *Environmental Science: Earth as a Living Planet*. New York: Wiley, 1995.
Cobb, R. W., and C. D. Elder. *Participation in American Politics*. 2nd ed. Baltimore: Johns Hopkins, 1983.
Diamond, J. *Guns, Germs, and Steel: The Fates of Human Societies*. New York: Norton, 1996.
Downing, P. B. *Environmental Economics and Policy*. Boston: Little, Brown, 1984.
Easterbrook, G. *A Moment on the Earth: The Coming Age of Environmental Optimism*. Bergenfield, N.J.: Viking Penguin, 1995.

Field, B. C. *Environmental Economics: An Introduction*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1996.
Franck, I., and D. Brownstone. *The Green Encyclopedia*. New York: Prentice Hall, 1992.
Henry, J. G., and G. W. Heinke. *Environmental Science and Engineering*. 2nd ed. New York: Prentice Hall, 1995.
Jackson, A. R., and J. M. Jackson. *Environmental Science: The Natural Environment and Human Impact*. New York: Longmand, 1996.
Lave, L. B. *The Strategy of Social Regulations: Decision Frameworks for Policy*. Washington, D.C.: Brookings, 1981.
McHibben, B. *Hope, Human and Wild: True Stories of Living Lightly on the Earth*. Boston: Little, Brown, 1995.
Miller, G. T. *Environmental Science: Working with the Earth*. 5th ed. Belmont, Calif.: Wadsworth, 1997.
Ophuls, W. *Ecology and the Politics of Scarcity*. New York: Freeman, 1977.
Pepper, I. L., C. P. Gerba, and M. L. Brusseau. *Pollution Science*. San Diego, Calif.: Academic Press Textbooks, 1996.
Spellman, F. R. *Stream Ecology and Self Purification: An Introduction for Wastewater and Water Specialists*. Lancaster, Pa.: Technomic Publishing, 1996.
Tower, E. *Environmental and Natural and Natural Resource Economics*. New York: Eno River Press, 1995.
Walker, M. *The Nature of Scientific Thought*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1963.

الفصل الثاني

علم البيئة: الأساسيات

Environmental Science: The Fundamentals

عندما يكون في مقدورك أن تقيس ما تتكلم عنه بشكل أرقام فإنك ستعرف شيئاً ما عنه؛ ولكن عندما لا يمكنك أن تقيسه أوتعبر عنه بهذه الهيئة، فإن معرفتك به تكون ضئيلة وغير مرضية؛ ربما تكون بداية المعرفة ولكنك بالكاد تكون قد تقدمت نحو العلم.

–اللورد كلفن Lord Kelvin – 1891 م

أهداف الفصل Chapter Objectives

بعد دراسة هذا الفصل يجب أن تكون قادراً على أن:

- تُعرَّف وتطبق مفاهيم الدورات الجيوكيميائية المختلفة.
- تُعرَّف وتطبق وتقتفي إنسياب الطاقة عبر الأنظمة البيئية والغلاف الحيوي.
- تُعرَّف وتطبق القانونين الأول والثاني للديناميكا الحرارية في ما يخص علاقتهما بمفاهيم وأنظمة علم البيئة .
- تُعرَّف وتفهم وتطبق وتحول وحدات القياس التي نوقشت في هذا الفصل من نظام قياس إلى آخربصورة صحيحة، عند الحاجة.

خطة الفصل Chapter Outline

- تعريف: الدورات الجيوكيميائية.
- مناقشة : الدورات الجيوكيميائية (الغازية والرسوبية) .
- تعريف: دورة الكربون، ودورة النتروجين، ودورة الفسفور، ودورة الكبريت.

- تعريف: انسياب الطاقة
- تعريـــف ومناقـــشة: تـــوازن المـــواد، والقـــانون الأول والثـــاني للديناميكا الحرارية .
- مناقشة مستويات الطاقة عبر الغلاف الحيوي، ومستويات الطاقة عبر النظام البيئي، والتخليق الضوئي، والمستهلكين الأساسين.
- تعريف ومناقشة: وحدات القياس.
- تعريف وتطبيق: وحدات الكتلة، والطول والحجم، الحرارة، والضغط ووحدات القياس شائعة الاستخدام في علم البيئة . قياس السوائل وقياسات الغازات والأبخرة.

المصطلحات الأساسية Key Terms

litre	اللتر	abiotic	غير حيوي
mass	الكتلة	aerobic	هوائي
mass balance equations	معادلات توازن لكتلة	anaerobic	لا هوائي
meter	متر	atmosphere	الغلاف الجوي
nitrification	النترجة	biogeochemical cycle	الدوارات الجيوكيميائية الحيوية
nitrogen cycle	دورة النتروجين	biotic	حيوي
nutrient cycle	دورات المغذيات	carbon cycles	دورات الكربون
pascal (pa)	باسكال	conduction	التوصيل

phosphorus cycle	دورة الفسفور	conviction	الحمل
photosynthesis	التمثيل الضوئي	decomposers	المفككات
pressure	الضغط	density	الكثافة
primary consumers	المستهلكات الأولية	energy	الطاقة
producers	المنتجات	entropy	الأنتروبيا
radiation	الإشعاع	eutrophication	التخثث
second law of thermodynamics	القانون الثاني للديناميكا الحرارية	first law of thermodynamics	القانون الأول للديناميكا الحرارية
sinks	المصبات	food chain	سلسلة الغذاء
specific gravity	الكثافة النوعية	food web	شبكة الغذاء
sulfur cycle	دورة الكبريت	gas laws	قوانين الغازات
temperature	الحرارة	gram	الغرام
trophic level	المستوى الغذائي	guano	روث الطيور
volume	الحجم	hydrological cycle	الدورات

المائية			
كلفن	kelvin	الوزن	weight
قانون انخفاظ الكتلة	law of conservation of mass	العامل المحدد	limiting factor

مقدمة Introduction

نناقش في هذا الفصل المفاهيم الأساسية التي تستند إليها الأجزاء الأكثر تعقيداً من هذا الكتاب والتي سوف تتم مناقشتها في الفصول اللاحقة . يغطي الجزء الأول من هذا الفصل القواعد الأساسية المتعلقة بتدوير المادة عبر النظام البيئي – الدورات **الجيوكيميائية الحيوية**. ولأن هذه الدورات "ومعظم العمليات الأخرى على سطح الأرض" مدفوعة بطاقة الشمس، فإننا سوف نقدم الطاقة وانتقالها بعد ذلك. كما سنتناول وحدات القياس في الجزء الأخير من هذا الفصل.

الدورات الجيوكيميائية الحيوية Biochemical Cycles

لكي تعيش الكائنات الحية، وتنمو، وتتكاثر فإن ذرات وأيونات ومركبات المغذيات التي تحتاجها يتم تدويرها من البيئة الغير الحية "**غير حيوية abiotic**" إلى الكائنات الحية "الحيوية " ومن ثم تتكرر هذه الدورة من جديد. تُعرَّف هذا الدورات بالدورات الجيوكيميائية الحيوية، "دورات المغذيات" –ويعني هذا حرفياً الحياة – الأرض – الدورات الكيميائية.

لنفهم عالمنا الطبيعي، يجب أن نفهم الدورات الجيوكيميائية الحيوية

الطبيعية التي تحدث في بيئتنا . تقسم الدورات الجيوكيميائية إلى نوعين : *الغازية والرسوبية*. تشمل الدورات الغازية دورات الكربون والنتروجين. ويمثل الغلاف الجوي والمحيطات المصبات الرئيسية للمغذيات في الدورات الغازية. بينما تشمل الدورات الرسوبية دورات الكبريت والفسفور. كذلك تعتبر التربة وصخور القشرة الأرضية المصبات الرئيسية للدورات الرسوبية. تستمد هذه الدورات طاقتها من الشمس ويتم صقلها وتوجيهها من قبل الكائنات الحية المبددة للطاقة. تعتبر **الدورة المائية (hydrological cycle)**" التي سوف تناقش لاحقاً" من الدورات الأخرى المهمة. تستمد الدورة المائية طاقتها من الشمس أيضاً وتعمل كنظام توصيل دائم يحرك المواد الضرورية عبر النظام البيئي .

تمثل ما بين 20–40 من أصل 92 عنصراً موجوداً بشكل طبيعي على سطح الأرض المكوّنات التي تتكون منها الكائنات الحية. تعتبر العناصر الكيميائية مثل الكربون والهيدروجين والأوكسجين والنتروجين ضرورية للمحافظة على الحياة كما نعرفها على سطح الأرض. من ضمن هذه العناصر الضرورية لبقاء الكائنات الحية، تمثل عناصر الأوكسجين والهيدروجين والكربون، والنتروجين العناصر المطلوبة بكميات أكبر من غيرها. والمغزى هو وبغض النظر عن نوع العناصر الضرورية، أن هذه العناصر تدخل في دورات جيوكيميائية حيوية واضحة. في الوقت الحالي، دعنا نغطي هذه العناصر الضرورية للحياة بتفصيل أكبر.

تنتج العناصر الضرورية للمحافظة على الحياة من البيئة العالمية. وتتكون هذه البيئة من ثلاثة أقسام رئيسية:

6- **الغلاف المائي (Hydrosphere)**: يشمل العناصر المتكونة من

الأجسام المائية على سطح الأرض .

7- **القشرة الأرضية(Lithosphere)**: وتشمل العناصر الصلبة مثل الصخور.

8- **الغلاف الجوي(Atmosphere)**: الغلاف الخارجي الغازي الذي يحيط بالغلاف المائي والقشرة الأرضية .

تحتاج الكائنات الحية إلى مواد إستقلابية غير عضوية من الأجزاء الثلاثة للمحيط الحيوي لكي تبقى على قيد الحياة. على سبيل المثال، يوفر الغلاف المائي الماء بإعتباره مصدراً حصرياً للهيدروجين المطلوب. كما تقدم القشرة الأرضية العناصر الضرورية " الكالسيوم – الكبريت والفسفور". أخيراً، يزودنا الغلاف الجوي بالأوكسجين والنتروجين وغاز ثاني أوكسيد الكربون.

يتم تدوير هذه العناصر الضرورية كلها في البيئة، داخل هذه الدورات الجيوكيميائية الحيوية، إلى الكائنات الحية، ثم إلى البيئة مرة أخرى. ولأن هذه العناصر مهمة وضرورية بشكل كبير للمحافظة على الحياة، فيمكنك بسهولة أن تُعرَّف لماذا تسمى هذه الدورات، بشكل واقعي، " بدورات المغذيات".

تعيد الطبيعة معالجة العناصر الضرورية للحياة في أطوار غير عضوية – عضوية واضحة عبر هذه الدورات الجيوكيميائية الحيوية" أو"دورات المغذيات ". بعض هذه الدورات " **دورة الكربون carbon cycle**" على سبيل المثال هي أكثر إكتمالاً من الأخريات – الشيء الذي يعني أن هذه الدورة لا تفقد أي مادة خلال هذه العملية لفترة طويلة من الزمن . في حين أن بعضها الآخر اقل كمالاً، ولكن ضع هذه النقطة الأساسية في إعتبارك – تنساب الطاقة عبر النظام البيئي،

(سنشرح كيف يتم ذلك لاحقا)، ولكن المواد الغذائية يتم تدويرها وإعادة تدويرها .

لأن البشر يحتاجون العناصر كلها، بسبب ثقافتنا المعقدة، فقد سرّعنا من حركة عدد من المواد بحيث أصبحت هذه الدورات تميل إلى أن تصبح غير مكتملة أوما يدعوه أودم (Odum 1817) " غير دائرية". أحد الأمثلة للدورات الغير مكتملة " الغير دائرية" يظهر جلياً في استخدام البشر للفوسفات، والذي يؤثر بالطبع في دورة الفسفور. يتم تعدين صخور الفوسفات ومعالجتها، باهمال ومن دون عناية، ما يقود إلى تلوث صحي حاد في الأماكن التي تقع بالقرب من مناجم ومحاجر الفوسفات. كما نزيد من إستخدام مدخلات أسمدة الفوسفات في الأنظمة الزراعية دون أن نتحكم بأي طريقة بالزيادة المحتمة في مخرجات الجريان السطحي والتي تفرض ضغطاً حادا على طرقنا المائية وتقلل من جودة الماء عبر عملية التخثث (**eutrophication**) وهي الشيخوخة الطبيعية لأجسام المياه التي لا تصب في أجسام مائية أخرى .

عادة ما نوفر المواد المغذية الضرورية في الأنظمة البيئية الزراعية في شكل أسمدة لنزيد من نمو النباتات والمحاصيل. ولكن في الأنظمة البيئية الطبيعية يعاد تدوير هذه المغذيات بصورة طبيعية عبر كل مستوى غذائي (**مستوى تغذية trophic level**). تتحصل النباتات على هذه المواد المغذية في شكل عناصر، وتتناول المستهلكات هذه العناصر في شكل مادة عضوية نباتية. كما تدور هذه العناصر عبر السلسلة الغذائية من منتج إلى مستهلك، وفي النهاية تتحلل هذه المواد مرة أخرى إلى شكل غير عضوي. تقدم الأجزاء اللاحقة وتناقش الدورات الغذائية للكربون، والنتروجين، والفسفور، والكبريت.

دورة الكربون : Carbon Cycle

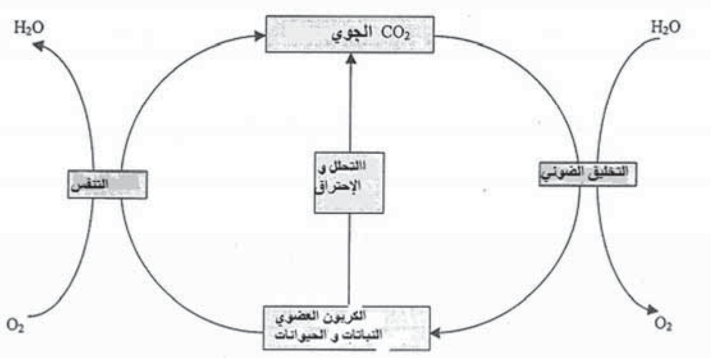
يعتبر الكربون مكوناً أساسياً لكل الكائنات الحية، ولبنة بناء أساسية للمركبات العضوية الكبيرة الضرورية للحياة (الكربوهدرات والدهون والبروتينات والحمض النووي وأشياء أخرى) . كما يتم تدويره في شبكات الغذاء من الغلاف الجوي (أنظر االشكل 1.2).

تحصل النباتات على ثاني أوكسيد الكربون من الهواء (الشكل 1.2) وعبر عملية التخليق الضوئي – وهي، على الأرجح، العملية الكيميائية الحيوية الأكثر أهمية على سطح الأرض – وتنتج الغذاء والأوكسجين التي تعيش عليه الكائنات الحية. يبقى جزء من الكربون في المادة الحية، في حين يتم إطلاق الجزء الباقي في شكل ثاني أوكسيد الكربون، وذلك في عملية التنفس الخلوي حيث يعاد إلى الغلاف الجوي.

يتم إحتواء بعض الكربون ودفنه في الحيوانات الميتة والمواد النباتية. وعلى مدى حقب من الزمن تتحول الكثير من المواد الحيوانية والنباتية المدفونة إلى الوقود الأحفوري (الفحم، والنفط، والغاز الطبيعي) والذي يحتوي على كميات كبيرة من الكربون. عند حرق الوقود الأحفوري يتحد الكربون مع الأوكسجين في الهواء ليشكل ثاني أوكسيد الكربون والذي يدخل إلى الغلاف الجوي.

يعمل ثاني أوكسيد الكربون في الغلاف الجوي كستار حراري مفيد – فهو لا يسمح بتسرب الطاقة الإشعاعية لحرارة الأرض إلى الفضاء. إن هذا التوازن من الضرورة بمكان . فإذا ما تم إطلاق كميات أكبر من ثاني أوكسيد الكربون في الغلاف الجوي، فإن هذا التوازن يمكن أن يختل، وقد اختل. إن الزيادات المهولة في كميات ثاني أوكسيد الكربون

بالغلاف الجوي تزيد من إمكانية الاحتباس الحراري. عواقب الاحتباس الحراري يمكن أن تكون كارثية، والتغيير المناخي الناتج قد يكون غير قابل للإنعكاس. (سنناقش ثاني أوكسيد الكربون والإحتباس الحراري بعمق أكبر لاحقاً في هذا الكتاب).



الشكل 1.2 دورة الكربون

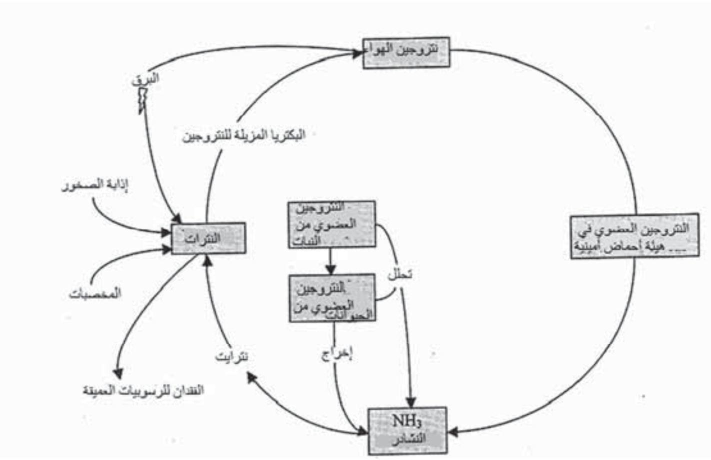
دورة النتروجين Nitrogen Cycle

يمثل النيتروجين نسبة 78% من حجم من الغلاف الجوي. كما يعتبر عنصراً أساسياً في تكوين المادة الحية، إذ يشكل نسبة 1–3% من الوزن الجاف للخلايا، وعلى الرغم من ذلك فإن النتروجين ليس عنصراً شائعاً على الأرض. وعلى الرغم من دوره كمكوّن ضروري لنمو النبات، فإن النتروجين ليس نشطاً كيميائياً، وقبل أن يستوعب من قبل الغالبية العظمى من الكتلة الحيوية، لابد من تثبيته (تحويله من الهيئة الغازية الخاملة إلى هيئة يمكن للكائنات الحية أن تستفيد منها– المترجم). ومع أن غاز النتروجين يمثل 78% من حجم من الغلاف الجوي، إلا أنه لا يكون مفيداً في هيئته الغازية هذه لمعظم النباتات والحيوانات. ولكن لحسن الحظ فإن غاز النتروجين يتحول إلى مركبات تحتوي على أيونات النترات التي يتم تناولها من قبل جذور النباتات

كجزء من دورة النتروجين (الموضحة بشكل مبسط في الشكل 2.2).

يتحول النتروجين الجوي إلى نترات بشكل أساسي عن طريق الكائنات الدقيقة، البكتريا والطحالب الخضراء والزرقاء. كما يقوم البرق بتحويل جزء منه إلى أشكال تعود إلى الأرض في شكل أيونات النترات وذلك من خلال الأمطار والأنواع الأخرى من الترسب. ويلعب النشادر دوراً بارزاً في دورة النتروجين (أنظر الشكل 2.2) . كما تنتج الأمونيا من مخلفات الحيوانات ومن التحلل الهوائي (بوجود الأوكسجين) للمادة العضوية الميتة عن طريق البكتريا، وبالمقابل، يتحول النشادر عن طريق بكتريا النترجة إلى النتريت، ومن ثم يتحول إلى نترات. تُعرَّف هذه العملية بعملية النترجة. وبكتريا النترجة هي بكتريا هوائية. وتُعرَّف البكتريا التي تحول النشادر إلى نيتريت ببكتريا النيتريت (نيتروكوككس –Nitrococcus–، ونيتروموناس –Nitromonas–)، في حين تُعرَّف الأنواع التي تحول النيتريت الى نترات ببكتريا النترات (نتروباكتر –Nitrobacter–).

ولأن النتروجين عادة ما يكون عاملاً محدداً في التربة الطبيعية، فإن بوسعه تثبيط نموالنبات. يُزال النتروجين من الطبقة السطحية للتربة عندما نحصد المحاصيل الغنية بالنتروجين، وعندما نروي المحاصيل، وعندما نحرق أو ننظف الأراضي العشبية والغابات قبل زراعة المحاصيل. عادة ما يأتي المزارعون بمصادر إضافية للنتروجين بغرض زيادة المحصول وذلك عن طريق إستخدام الأسمدة غير العضوية أو نشر الروث على الحقول ثم الاعتماد على بكتريا التربة في تحليل المادة العضوية وتحرير النتروجين لكي يمكن استخدامه من قبل النبات.



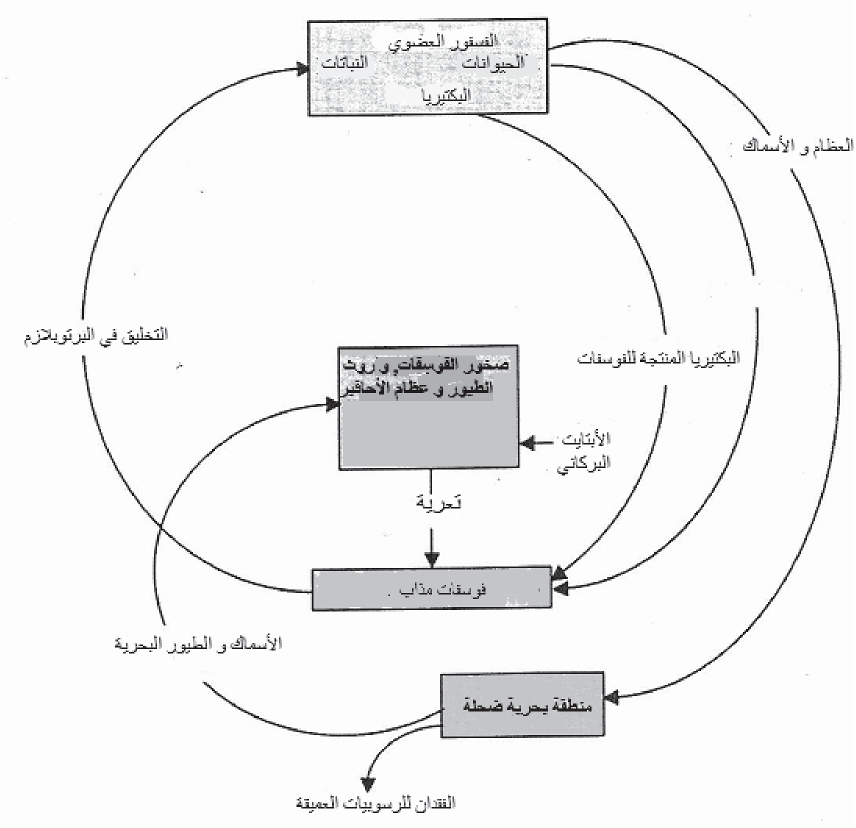
الشكل 2.2 دورة النتروجين

دورة الفسفور: Phosphorus Cycle

يعتبر الفسفور أحد العناصر الأخرى الشائعة في تركيب الكائنات الحية. يدور الفسفور عبر الماء والقشرة الأرضية والكائنات الحية في الدورة الفسفورية (أنظر الشكل 2.3) وتعد الصخور المصدر الرئيسي للفسفور (الشكل 2.3). يوجد الفسفور في الطبيعة على شكل فوسفات أو في هيئة أحد المعادن الأخرى التي تشكلت في الأزمنة الجيولوجية السابقة. تتعرض هذه الرواسب الضخمة للتعرية بشكل تدريجي معرضة الأنظمة البيئية المختلفة للفسفور. ينتهي المطاف بكمية كبيرة من الفسفور الناتج عن التعرية في أعماق سحيقة في المحيطات، وتذهب كميات أقل الى الرواسب الضحلة. يصل بعض الفسفور إلى اليابسة عن طريق الحيوانات البحرية. كما يمكن للطيور أن تؤدي دوراً في عملية استرجاع الفسفور. والرواسب الضخمة لروث الطيور في الساحل البيروفي مثال على ذلك. لقد سرَّع البشر في معدل فقدان الفسفور وذلك من خلال التعدين وإنتاج الأسمدة التي تجرف بعيداً وتفقد.

لقد أصبح الفسفور عنصراً مهماً في دراسات جودة المياه، لأنه في

أحيان كثيرة يكون العامل المحدد. يعمل الفوسفات عند دخوله الى جدول مائي كسماد، مما يعزز نمو طبقات الطحالب غير المطلوبة، وبتحلل المادة العضوية تنخفض مستويات الأوكسجين المذاب فتموت الأسماك والأنواع المائية الأخرى الشيء الذي يحد من المجتمعات الأخرى المنتجة في أنظمة المياه العذبة.



الشكل 3.2 دورة الفسفور

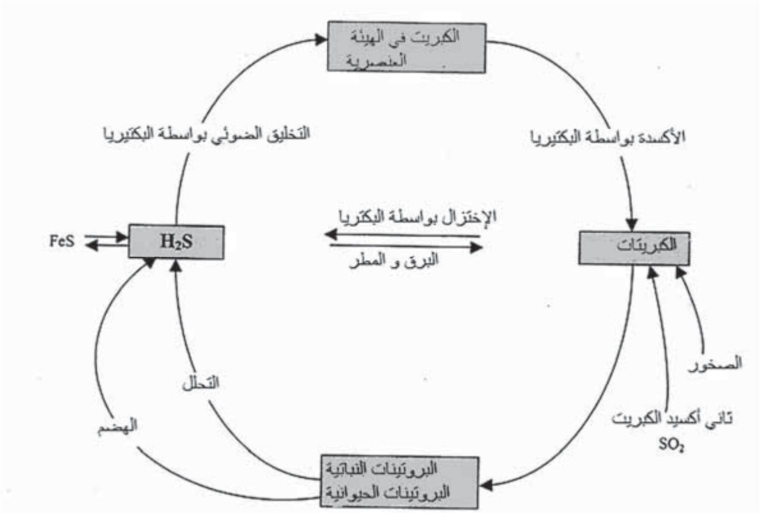
دورة الكبريت: Sulfure Cycle

إن الكبريت، مثله مثل النيتروجين، عنصر مميز للمركبات العضوية. تعتبر دورة الكبريت (أنظر الشكل 2.4) دورة غازية ورسوبية في آن

واحد. وتلعب البكتريا دوراً مهماً في تحويل الكبريت من شكل إلى آخر. ففي بيئة لا هوائية (أي في غياب الأوكسجين)، تحلل البكتريا المادة العضوية منتجة غاز كبريتيد الهيدروجين والذي يتميز برائحة البيض الفاسد. في حين تقوم بعض أنواع البكتريا بتحويل كبريتيد الهيدروجين إلى عنصر الكبريت. وتقوم أنواع أخرى بتحويل الكبريت إلى أملاح الكبريتات. تنتج أملاح الكبريتات الأخرى من تحلل الصخور وبعض من ثاني أوكسيد الكبريت. وتستوعب النباتات الكبريت في هيئة بروتينات. وعندما يتم استهلاك بعض هذه النباتات من قبل الكائنات الحية يتحرر الكبريت الموجود في البروتين عن طريق البكتريا متغايرة التغذية اللاهوائية في شكل كبريتيد الهيدروجين.

سريان الطاقة عبر النظام البيئي والمحيط الحيوي Energy Flow Through an Ecosystem and the Biosphere

نحن عادة ما نفكر في الطاقة كأمر مسلم به بسبب ألفة كاذبة، ذلك لأننا نفكر فيها بطرق مختلفة، فهناك الطاقة النووية والطاقة الرخيصة والطاقة الوفيرة، وهكذا دواليك. يمثل هذا الأمر مفارقة مزدوجة كبيرة، فنحن، من جهة، نعرف أنه ومن دون طاقة فإن مجتمعنا المعتمد على الصناعة سيتوقف عن العمل. ومن جهة أخرى، تمثل الطاقة أكثر من مجرد القوة الدافعة لآلتنا، وحضارتنا، فهي أيضاً القوة الدافعة للأعاصير، وحركة الكواكب، والكون بأسره. وعلى الرغم من شموليتها، ونفاذيتها، فإن الطاقة مفهوم معقد ومحير. فهي لا ترى ولا يمكن تذوقها ولا شمها ولا لمسها. فما هي إذن ؟ للإجابة عن هذا السؤال، لابد أولاً من أن نفهم توازن المواد.



الشكل 4.2 دورة الكبريت

توازن المواد Material Balance

إن أسهل طريقة، في الأرجح، للتعبير عن توازن المواد هي أن نشير إلى حقيقة أن كل شيئ يجب أن يذهب إلى مكان ما . وبحسب قانون انحفاظ الكتلة، فإنه وعند حدوث التفاعلات الكيميائية، لا تفنى المادة ولا تستحدث من عدم (بإستثناء التفاعلات النووية حيث يمكن للكتلة أن تتحول فيها إلى طاقة). تكمن أهمية هذا المفهوم لعلم البيئة في أنه يسمح لنا بتقصي الملوثات من مكان إلى آخر مستخدمين **معادلات توازن الكتلة.**

للقيام بتحليل توازن المواد، لابد أولاً من تحديد المنطقة المعينة المراد تحليلها. قد تكون هذه المنطقة المختارة أي شيئ-بحيرة، أو شريطاً نهرياً أو مجري مائياً، أو حوضاً هوائياً فوق مدينه أو مصنع، أوحوض تكرير كيميائي، أو منشأة لتوليد الطاقة من الفحم، أو الأرض ذاتها. مها تكن المنطقة التي تختار أن تحللها، فلابد أن تحدد هذه المنطقة بحدود تخيليه (أنظر الشكل 2.5). فمن منطقة كهذه يمكن أن تبدأ بالتعرف على سريان المواد عبر الحدود، بالإضافة إلى تراكم هذه المواد داخل المنطقة .

عند دخول مادة ما إلى المنطقة هناك ثلاثة إحتمالات ممكنه: فبعضها يمكن أن يدخل ويمر عبر المنطقة من دون تغيير، وبعضها سيتراكم داخل المنطقة المحددة، وبعضها قد يتحول، (على سبيل المثال تحول أول أوكسيد الكربون إلى ثاني أوكسيد الكربون) إلى مادة أخرى. فإذا استهدينا بالشكل5.2 يمكن أن نكتب معادله توازن المواد (1.2) كالآتي:

(1.2) معدل التراكم (accumulation rate) + معدل الخرج (outcome rate) = معدل الدخل (income rate)

لاحظ أن معدل التفكك في المعادلة 1.2 لا ينطوي على أي خرق لقانون انحفاظ الكتلة، فلا قيود على تبدل مادة ما إلى أخرى (التفاعلات الكيميائية)، فالذرات محافظ عليها.

ملحوظه:في الواقع يمكن تبسيط المعادلة 1.2 (وغالبا ما يتم ذلك) بافتراض حالة الثبات في ظروف التوازن (أي أن لا شيئ يتغير بمرور الزمن)، ولكن مناقشه هذه الممارسة تقع خارج نطاق هذا الكتاب، وغالباً ما تقدم في دراسات الهندسة البيئية.

دعنا نرجع لنقاشنا حول الطاقة. أولاً، ماهي الطاقة ؟ عادة ما تُعرَّف الطاقة أنها القدرة على انجاز شغل، في حين يعرف الشغل بأنه ناتج ضرب القوة والإزاحة التي تحدث لجسم ما نتيجة لهذه القوه .

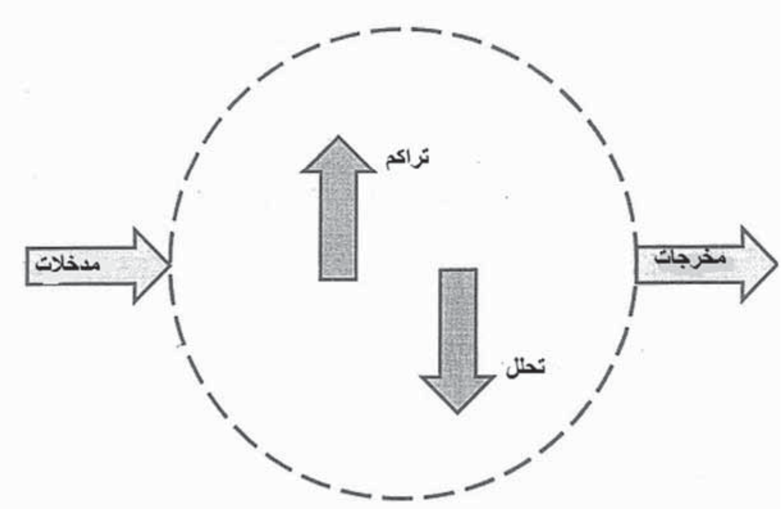
جنباً إلى جنب مع فهم وتحليل سريان المواد عبر منطقة معينة، يمكن أيضاً أن نحدد ونحلل سريان الطاقة بإستخدام القانون الأول للديناميكا الحرارية والذي ينص على أن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث من العدم . وبإختصار، يمكن للطاقة أن تتحول من شكل في عملية معينه إلى آخر، ولكن ينبغي لنا أن نكون قادرين على حساب أي جزء من الطاقة المشاركة في تلك العملية . وبصيغه مبسطه، يمكن أن نوضح هذه العلاقة في المعادلة 2.2

2.2 الطاقة الداخلة =الطاقة الخارجة

قد تعطيك المعادلة 2.2 إنطباعاً خاطئاً أن عملية نقل الطاقة تتم بنسبة

100% من الفعالية. وهذا بالطبع ليس صحيحاً. ففي منشأة توليد الطاقة من الفحم، على سبيل المثال، لا يتحول سوى جزء يسير من طاقة الفحم المحروق مباشرةً إلى كهرباء. فجزء كبير من طاقة الفحم المحروق ينتهي بها المطاف إلى شكل نفايات حرارية تنبعث إلى البيئة، وذلك بسبب القانون الثاني للديناميكا الحرارية، والذي ينص على أن كل عملية ستولد بعض النفايات الحرارية، لذا فإن تصميم عملية ما أوآلة ما تستطيع تحويل الحرارة إلى شغل بنسبة 100 % من الفعالية أمر مستحيل.

يمكن نقل الحرارة بثلاث طرق: عن طريق التوصيل، والحمل، والإشعاع. تنتقل الحرارة عبر التوصيل حينما يحدث تماس بين جسمين بدرجات حرارة مختلفة وذلك بإنتقالها من الجسم الأسخن إلى الأبرد. وتنتقل الحرارة عن طريق الحمل في حالة وجود غاز أوسائل بين جسمين صلبين. وتنتقل الحرارة أيضاً في حالة عدم وجود أي وسط طبيعي عن طريق الإشعاع (على سبيل المثال، الطاقة الإشعاعية من الشمس).



الشكل 5.2 توازن المواد

سريان الطاقة في المحيط الحيوي Energy Flow in the Biosphere

يبدأ سريان الطاقة في المحيط الحيوي من الشمس . فطاقة الشمس الإشعاعية تحافظ على الحياة على ظهر الأرض. فهي لا توفر الضوء والدفء وحدهما للأرض، بل تستخدمها النباتات الخضراء كذلك لتصنع المركبات التي تبقيها على قيد الحياة. تمثل هذه المركبات الغذاء لغالبية الكائنات الأخرى. كما تمثل طاقة الشمس القوة الدافعة للدورات الحيوية الكيميائية وللأنظمة المناخية التي توزع الحرارة والمياه العذبة على سطح الأرض.

يعكس الشكل 6.2 نقطة مهمة: لا تصل الطاقة الإشعاعية الشمسية كلها إلى الأرض. إذ ينعكس حوالي 34% من الطاقة الإشعاعية الواردة إلى الفضاء عن طريق السحب، والغبار، والمواد الكيميائية في الغلاف الجوي، وعن طريق سطح الأرض. وتدفئ النسبة المتبقية (66%) الغلاف الجوي واليابسة، كما تبخر الماء وتدوره عبر المحيط الحيوي، وتولد الرياح كذلك. من المدهش أن نسبة ضئيلة جداً (حوالي 0.022%) تستخدم من قبل النباتات الخضراء لتصنيع سكر الجلكوز الضروري للحياة.

يتبدد معظم الطاقة الإشعاعية الشمسية الواردة وغير المنعكسة بعيداً عن الأرض إلى الفضاء مرة أخرى، أو تتحول إلى حرارة ذات موجات طولية أطول (متماشية مع القانون الثاني للديناميكا الحرارية). وتتأثر الكمية الفعلية للطاقة التي ترجع إلى الفضاء بوجود جزيئات الماء، والميثان، وثاني أوكسيد الكربون والأوزون، وأنواع مختلفة من المواد الحبيبية في الغلاف الجوي. تنتج بعض هذه الحواجز من الأنشطة البشرية وقد تؤثر على أنماط المناخ العالمية وذلك عندما تخل بالمعدل الذي تسري من خلاله الطاقة الشمسية الواردة عبر المحيط الحيوي وتعود إلى الفضاء. (سنناقش التأثيرات المحتملة للأنشطة البشرية على المناخ في فصل لاحق).

سريان الطاقة عبر النظام البيئي Energy Flow in the Ecosystem

الطاقة ضرورية لوجود أي نظام بيئي ولإستمراره. كل أنشطة الكائنات الحية تتضمن شغلاً- استهلاكاً للطاقة- أي تحلل مستويات عليا من الطاقة إلى مستويات أدنى. يحكم سريان الطاقة عبر النظام البيئي بالقانونين المذكورين سابقاً :القانونين الأول والثاني للديناميكا الحرارية.

تذكر أن القانون الأول، والذي يدعى قانون انخفاظ الطاقة، ينص على أن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث من العدم، بينما ينص القانون الثاني على أنه لا توجد عملية لتحويل الطاقة تبلغ نسبة فعاليتها 100%. سيساعدنا هذا الأمر على مناقشة سريان الطاقة عبر النظام البيئي. فجنباً إلى جنب مع القانون الثاني (بعض الطاقة تفقد بشكل دائم، وتتفرق على شكل حرارة)، يوجد هناك مفهوم آخر بالغ الأهمية، ألا وهو **الأنتروبيا** . يستخدم هذا المفهوم كمقياس للطاقة غير المستفاد منها في نظام ما، تزيد كمية الأنتروبيا مع زيادة الحرارة المبددة. وبسبب الأنتروبيا فإن الطاقة الداخلة لأي نظام تكون أعلى من الناتج أوالشغل المنجز، وتكون الفعالية الناتجة أقل من نسبة 100%.

يهتم علماء البيئة والتقنيون بتفاعل الطاقة والمواد في النظام البيئي. ناقشنا سابقاً الدورات الاحيائية الجيوكيميائية للمغذيات، وأشرنا إلى أن سريان الطاقة يمثل القوة الدافعة لهذه الدورات. لا يتم تدوير الطاقة كما هو الحال مع المغذيات في الدورات الأحيائية الجيوكيميائية. وعلى سبيل المثال، وعند مرور الغذاء من كائن إلى آخر، فإن الطاقة الموجودة في هذا الغذاء تتناقص تدريجياً حتى تتبدد الطاقة الموجودة كلها في النظام على شكل حرارة . يشار إلى هذه العملية بالسريان أحادي الإتجاه للطاقة عبر النظام، من دون أي إمكانية لإعادة تدوير الطاقة. نحتاج الطاقة لإعادة تدوير الماء والمغذيات. لا يمكن إعادة تدوير الطاقة المستهلكة في إعادة التدوير، وكما يلاحظ اودم فإن "هذه الحقيقة ليست مفهومة لأولئك الذين يعتقدون أن إعادة التدوير الصناعية للموارد البشرية

هي حل فوري ومجاني للنقص " (61,1975) .

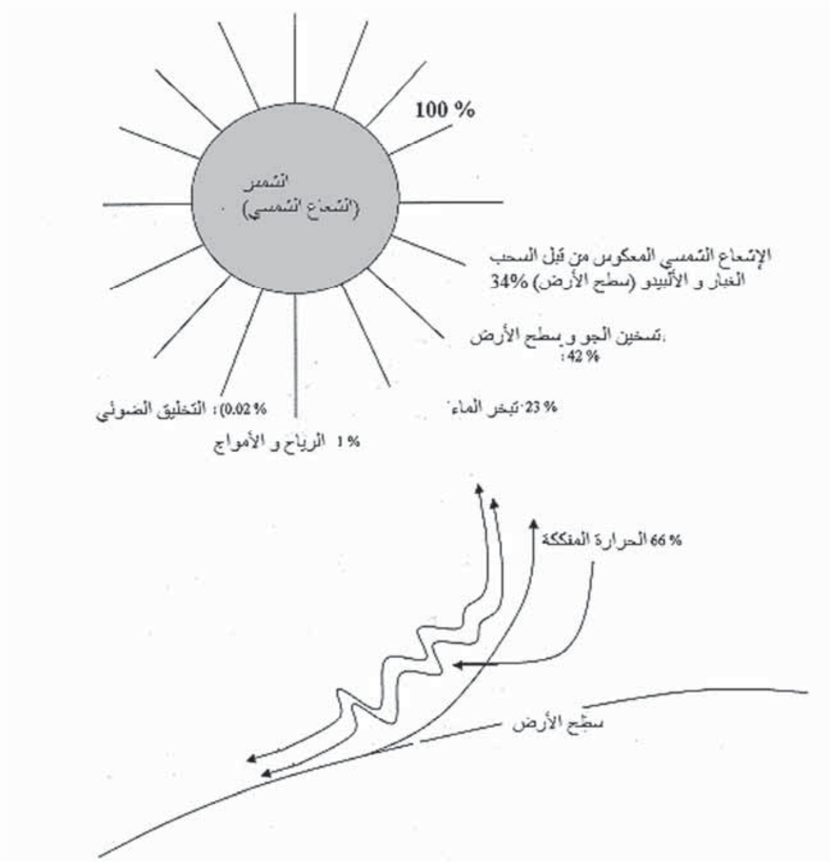
يعتبر ضوء الشمس المصدر الرئيسي للطاقة في النظام البيئي. **فالمنتجات** (النباتات الخضراء والزهور، والأشجار، والسرخسيات، والطحالب، والأشنات) ومن خلال عملية التخليق الضوئي، تحول طاقة الشمس إلى كربوهيدرات يتم استهلاكها من قبل الحيوانات.هذا الإنتقال بالطاقة، وكما أشرنا سابقاً، أحادي الاتجاه: من المنتجات إلى المستهلكات. عادة ما نسمي أنتقال الطاقة إلى كائنات مختلفة **سلسلة غذائية**. يظهر الشكل 7.2 سلسلة غذائية مائية بسيطة.

تعتبر كل الكائنات، حية كانت أم ميتة، مصادر غذاء محتملة لكائنات أخرى. نشير هنا إلى الكائنات التي تشترك في نفس النوع العام من الغذاء في سلسلة غذائية ما، تشترك في نفس المستوى الغذائي (المستوى التغذوي) .وبما أن النباتات الخضراء تستخدم ضوء الشمس لتنتج الغذاء للحيوانات، لذلك يشار إليها على أنها منتجات المستوى الغذائي الأول. في حين نسمي العواشب التي تتغذى على هذه النباتات العشبية مباشرة بالمستوى الغذائي الثاني، أو **المستهلكات الأولية**. وتُعرَّف اللواحم على أنها مستهلكات آكلة للحوم، وتشمل عدة مستويات غذائية وذلك من المستوى الثالث وأعلى (أنظر الشكل 8.2). في كل عملية إنتقال تفقد كمية كبيرة من الطاقة (حوالي 80%–90%) في شكل حرارة ونفايات .عادة ما تحد الطبيعة من السلاسل الغذائية إلى أربع أو خمس روابط. لاحظ رغم ذلك، أن سلاسل الغذاء المائية عاده ما تكون أطول من نظيراتها على اليابسة، وذلك بسبب أن عدداً من الأسماك المفترسة قد تتغذى على المستهلكات النباتية. ومع ذلك فإن اللافعالية الكامنة في عمليات إنتقال الطاقة تمنع تطور سلاسل غذائية بالغة الطول.

لا توجد سوى القليل من السلاسل الغذائية البسيطة في الطبيعة، ومعظمها متشابك مع بعضه البعض. يشكل هذا الإرتباط للسلاسل الغذائية **شبكة غذائية (food net)**– وهي خريطة توضح من يتغذى على ماذا . قد يحتل كائن حي

في شبكة غذائية أكثر من مستوى غذائي واحد. تساعدنا هذه السلاسل والشبكات الغذائية على فهم كيفية انتقال الطاقة عبر النظام البيئي.

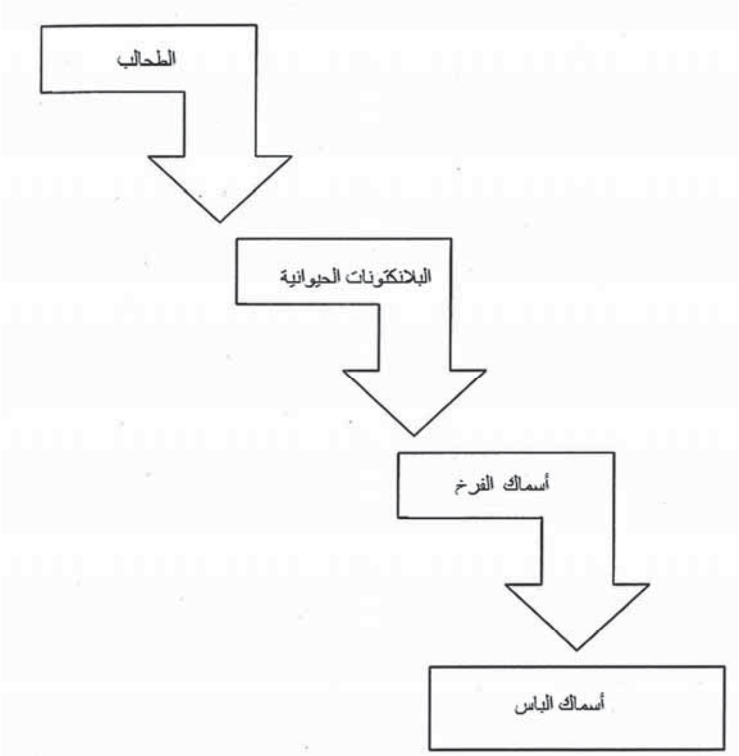
هناك مستوى غذائي مهم في الشبكة الغذائية يتكون من **المفككات** (decomposers)، تتغذى هذه المفككات على النباتات أوالحيوانات الميتة وتؤدي بذلك دوراً مهما في إعادة تدوير المغذيات في النظام البيئي.لا تنتج الأنظمة البيئية السليمة أي نفايات، فكل الكائنات، حية أو ميتة، هي مصادر محتمله للغذاء(والطاقة) للكائنات الأخرى.



الشكل 6.2 إنسياب الطاقة من والى الأرض

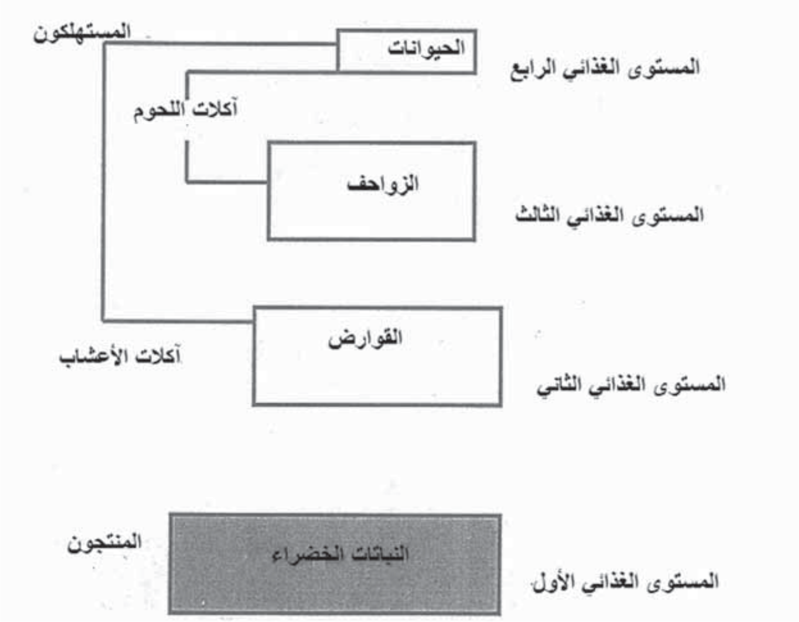
وحدات القياس
Units of Measurment

إن معرفة أساسية بوحدات القياس وكيفية إستخدامها أمر ضروري لدارسي علم البيئة. وينبغي على دارسي علم البيئة وممارسيها أن يكونوا على إلمام بالنظام الأمريكي أو الإنجليزي، إضافة إلى النظام العالمي للوحدات . سنلخص هنا الوحدات المهمة لتعيننا على تطوير فهم أحسن للمواد التي سنتناولها لاحقاً في هذا الكتاب. كما يقدم الجدول 1.2 معاملات التحويل بين النظامين العالمي والأمريكي لبعض الوحدات الأساسية التي ستواجهنا.



الشكل 7.2 سلسلة الغذاء المائية

ستواجه في دراستك لعلم البيئة كميات بالغة الضخامة وأخرى بالغة الصغر. يقاس تركيز بعض المواد السامة في وحدة جزء من المليون(ppm) أو جزء من البليون (ppb)، وعلى سبيل المثال فإن جزءاً من المليون يمكن أن يوصف بشكل تقريبي على أنه حجم السائل الموجود في كوب من الزجاج مقارنه بحجم الماء الموجود في حوض سباحة. ولتوصيف الكميات التي لها قيم بهذا الكبر، أو الصغر، فإننا نستخدم نظاماً من السوابق (Prefixes) التي ترافق هذه الوحدات . نقدم بعضاً من السوابق المهمة في الجدول2.2.



الشكل 8.2 سريان الطاقة عبر نظام بيئي

وحدات الكتلة Units of Mass

ببساطة، تُعرَّف الكتلة على أنها كمية للمادة وقياس لكمية القصور الذاتي في جسم ما. تعبر الكتلة عن درجة المقاومة التي يبديها جسم ما للتغيير في حالتي السكون أوالحركة، والتي تتناسب طردياً مع كمية المادة الموجودة في الجسم.

طريقة أخرى أسهل لفهم الكتلة تكون في التفكير بها على أنها كمية المادة في جسم ما .

يخلط دارسوا العلوم بين الكتلة والوزن. وهما أمران مختلفان. فالوزن، على سبيل المثال،هو فعل قوى الجاذبية على جسم ما، ويتناسب طردياً مع الكتلة. الوحدة الأساسية لقياس الكتلة في النظام العالمي للقياس (النظام المتري المحدث) هي الغرام (g). كيف يمكن مقارنة هذا بالوزن ؟

لنوضح العلاقة بين الكتلة والوزن ضع في اعتبارك أن الرطل يحتوي على 452.6 من الغرامات. في العمليات المختبرية، يعتبر الغرام وحدة قياس ملائمة. ولكن في تطبيقات العالم الواقعي عادةً ما يكون الغرام مسبوقاً بأحد السوابق التي أشرنا إليها في الجدول 2.2 . على سبيل المثال، نعبر عن كتلة جسم الإنسان بالكيلوغرامات (1كيلوغرام =2.2 رطل). وبالتعبيرات الدارجة نقول إن الكيلوغرام هو كتلة لتر واحد من الماء .أما عند التعامل مع وحدات القياس المتعلقة بالحالات البيئية مثل الملوثات الهوائية وملوثات الماء السامة، فيمكن أن نعبر عنها بالتيرا غرام (10^{-12}) والمايكروغرام (10^{-6}). وعند التعامل مع البضائع الصناعية الضخمة نستخدم وحدات القياس من نوع الميغاغرام (Mg)، والتي تُعرَّف أيضا بالطن المتري.

عادة ما يتم الخلط أحياناً بين الكتلة (mass) والكثافة (density) وكأنهما يعنيان الشيء نفسه –وهذا غير صحيح. ففي حين أن الكتلة هي كمية المادة وقياس لكمية القصور الذاتي الموجود في جسم ما، تشير الكثافة إلى مدى إكتناز هذا الجسم بالمادة، وتُعرَّف الكثافة على أنها وحدة الكتلة على وحدة الحجم(volume) بالنسبة الى جسم ما، وتكتب معادلتها كالتالي:

Density= mass/volume (3.2)

فجسم ما بكتلة 25 كغم يحتل حجماً بمقدار 5 م^3 سيكون له كثافة بمقدار 25

كغم/ 5 م ^{3} .في هذا المثال قيست الكتلة بالكيلوغرامات والحجم بالأمتار المكعبة.

الجدول 1.2 الوحدات شائعة الإستخدام ومعاملات التحويل

المقدار	وحدة النظام العالمي للقياس	رمز وحدة النظام العالمي للقياس	معامل التحويل	الوحدة المقابلة في النظام الأمريكي للقياس
الطول	المتر Meter	m	3.2808	القدم ft
الكتلة	كيلوغرام Kilogram	kg	2.2046	الرطلlb
درجة الحرارة	درجة حرارة مئوية Celsius	C	1.8(C)+32	فهرنهايتF
المساحة	المتر المربع Square meter	m^2	10.7639	القدم المربع ft^2
الحجم	المتر المكعب Cubic meter	m^3	35.3147	القدم المكعبft^3
الطاقة	كيلوجول Kilo joule	Kj	0.9478	وحدة الحرارة البريطانية Btu
القوة	واط Watt	W	3.4121	وحدة الحرارة البريطانية/الساعة Btu/hr
التسارع	متر/الثانية Meter/second	m/s	2.2369	ميل/الساعة mi/hr

جدول 2.2 سوابق (Prefixes) شائعة الإستخدام

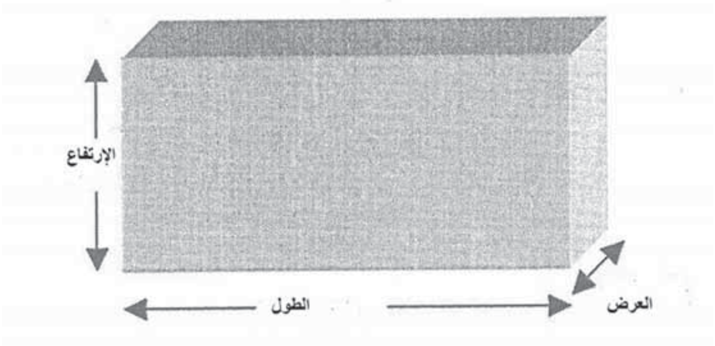
الوحدة	السابقة	الرمز
10^{-12}	بيكو Pico	P

10^{-9}	نانو Nano	n
10^{-6}	ميكرو Micro	μ
10^{-3}	ملي Milli	m
10^{-2}	ستي Centi	c
10^{-1}	ديسي Deci	d
10	ديكا Deca	da
10^{2}	هكتو Hecto	h
10^{3}	كيلو Kilo	k
10^{6}	ميجا Mega	M

وحدات الطول Units of Length

في قياس الأماكن والأحجام، نستخدم الخاصية الأساسية ألا وهي الطول، والذي يعرف على أنه قياس الفضاء في أي إتجاه. هنالك ثلاثة أبعاد للفضاء يمكن قياس كل منها بالطول. يمكن أن يرى هذا الأمر بسهولة إذا ما وضعنا في الإعتبار جسماً مستطيل الشكل، كما هو موضح في الشكل 9.2. لهذا الشكل طول، وعرض، وإرتفاع، ولكن لكل من هذه الأبعاد طول.

يعبر عن الطول، في النظام المتري، بوحدة المتر م أوm، والتي تعادل 39,37 من البوصة . في حين يعادل الكيلومتر (كم أوkm) 1000 متر ويستخدم لقياس المسافات الأطول. نستخدم السنتمتر للقياسات المختبرية(سم = 0,01 م). يوجد 2,4 سم في البوصة الواحدة، ويستخدم السنتمتر للتعبير عن الأطوال التي عادة ما يعبر عنها بالبوصة في النظام الانجليزي . يستخدم المايكرومتر للتعبير عن قياسات الخلايا البكتيرية وأطوال موجات الأشعة تحت الحمراء والتي عن طريقها تعيد الأرض إشعاع الطاقة الشمسية مرة أخرى إلى الفضاء الخارجي. أما لقياس الضوء المرئي (400 –800 نانومتر)، فعادة ما نستخدم النانومتر (10^{-9}).



الشكل 9.2 الطول

وحدات الحجم Units of Volume

إن أسهل مدخل للقياسات التي تتضمن الحجم هو أن تتذكر أن الحجم هو عبارة عن مساحة السطح مضروبة في بعد ثالث. يعتبر اللتر وحدة القياس الأساسية للحجم في النظام المتري وهو عبارة عن حجم ديسمتر مكعب (1ل = 1 دسم ^{3}) . في حين أن المليلتر هونفس حجم السنتيمتر المكعب، سم ^{3}.

وحدات قياس الحرارة Units of Temperature

درجة الحرارة هي مقياس لمدى "سخونة" شيئ ما – كما هي مقياس لمقدار الطاقة الحرارية التي يحتويها. إن درجة الحرارة هي وحدة قياس أساسية في علم البيئة، خصوصاً في معظم الأعمال المتعلقة بالتلوث . فدرجة حرارة بقعه تلوث غازية ما، على سبيل المثال، تحدد مقدرتها على الطفو وإلى أي مدى سترتفع بقعة النفايات السائلة قبل أن تكتسب حرارة الأجسام المحيطة بها. يحدد هذا بدوره مدى التخفيف الذي ستتعرض له قبل أن تصل آثار الملوث للمستوى الأرضي.

تقاس درجة الحرارة بعدة مقاييس: على سبيل المثال، يقاس النظامان المئوي، ونظام فهرنهايت من نقطة مرجعية – ألا وهي نقطه تجمد الماء – والتي تساوي

0^o C أو 32^o F. في حين تساوي نقطة غليان الماء $100\ ^o$ C أو 212^o F على التوالي. تعمل أجهزة الديناميكا الحرارية على المقياس المطلق،حيث تكون النقطة المرجعية هي الصفر المطلق، وهي أقل درجة حرارة يمكن الحصول عليها . ولقياس الحرارة المطلقة نستخدم وحدات الديناميكا الحرارية أو مقياس كلفن (ك أوK) –والذي يستخدم نفس تقسيمات النظام المئوي مع فارق أن الصفر هو أقل درجة حرارة ممكنة في هذا المقياس. وحدة الحرارة في هذا المقياس تساوي وحدة القياس في النظام المئوي، ولكن لا تدعى درجة، بل تسمى كلفن، ويرمز لها بالرمز (K) وليس (^{0}K) . تساوي قيمة الصفر المطلق على مقياس كلفن237.15 – م، وعلى هذا فإن الحرارة بمقياس الكلفن دائما ما تكون أعلى ب273 درجة من نظيرتها في المقياس المئوي . لذا يغلي الماء في 373 كلفن ويتجمد في 273 .

للتحويل من النظام المئوي إلى نظام كلفن، فإننا ببساطة نضيف 273 لدرجة الحرارة المئوية لنحصل على درجة الحرارة بمقياس كلفن. ورياضياً:

$$K= C+237 \quad (4.2)$$

حيث أن K = درجة الحرارة على مقياس كلفن

و C = درجة الحرارة على المقياس المئوي

التحويل من مقياس فهرنهايت إلى المقياس المئوي ليس بهذه السهولة. والمعادلات المستخدمة هي:

$$C^o = 5/9\ (^oF - 32) \quad (5.2)$$

و

$$^oF = 9/5\ ^oC +32 \quad (6.2)$$

حيث C = الحرارة على المقياس المئوي .

حيث F = الحرارة على مقياس فهرنهايت.

وكأمثلة، 15^0 C = 59^0 F و 68^0 F يساوي 20 ^{0}C ويمكن أن يكون كلاهما ذا قيمة سالبة.

وحدات الضغط Units of Pressure

يعرف الضغط على أنه القوة مقسومةً على وحدة المساحة، ويمكن أن يعبر عنه بعدد من الوحدات المختلفة، يشمل ذلك ضغطاً جوياً (ضغط جوي)، ومتوسط ضغط الهواء عند مستوى سطح البحر أو الباسكال (باسكال)، والذي عادة ما يعبر عنه في صيغة الكيلوباسكال (1كيلوباسكال = 1000 باسكال، و101.3 كيلوباسكال = 1ضغط جوي.) . يمكن أن تكتب وحدات الضغط في شكل مليمترات من الزئبق (مم زئبق)، والذي يستند إلى كمية الضغط المطلوبة لرفع عامود الزئبق في مقياس الضغط الزئبقي . تسمى 1 مم من الزئبق تور، ويعادل 760 تور 1 ضغط جوي

الوحدات الشائعة في علم البيئة
Units often Used in Environmental Studies

في علم البيئة عادة ما نهتم بتركيز مادة ما (دخيله أوغير ذلك) في الهواء أو الماء. في أي من الوسطين قد تكون التراكيز مبنية على الحجم أو الوزن أوعلى مزيج منهما (الأمر الذي يقود إلى بعض الخلط). ولنفهم كيف نستخدم الوزن والحجم لنحدد التراكيز المختلفة عند دراسه السوائل أوالغازات / الأبخرة، ادرس التوضيحات القادمة.

السوائل

يعبر عن تراكيز المواد الذائبة في الماء في صيغة وزن المادة في وحدة حجم الخليط . في علم البيئة، يمكن أن نجد مثالاً عملياً جيداً لإستخدام الوزن في وحدة المساحة عندما ينتشر ملوث ما في الغلاف الجوي سواء على هيئة صلبة

أو سائلة مثل الضباب أوالغبار أوالدخان . فعندما يحدث هذا الأمر، غالباً ما نعبر عن تركيزه في صيغة وزن في وحدة الحجم. يعبر عن تركيز الملوثات الموجودة في الهواء الخارجي والملوثات المنبعثة من المداخن عادةً بالغرامات أوالمليغرامات، أومايكروغرامات في المتر المكعب، أو الأوقية في 1000 قدم مربع، أوالرطل في 1000 رطل من الهواء، وفي القدم المكعب. يعبر عن معظم القياسات بالنظام المتري، ومع ذلك فإن إستخدام الوحدات الأمريكية مبرر بغرض المقارنة مع المعلومات المتوفرة، خصوصاً تلك المتعلقة بمواصفات معدات تحريك الهواء.

وعلى نحو بديل، يمكن أن نعبر عن تركيز السوائل في صيغة وزن المادة على وزن الخليط، أشهر هذا النوع من الوحدات هوالجزء من المليون أو الجزء من البليون .

ولأن معظم تراكيز الملوثات تكون ضئيلةً جداً، واللتر الواحد من الخليط يساوي 1000 غرام تقريباً، لذا فإننا لكل الأغراض العملية يمكن أن نكتب:

(2.7) 1 ملغم/ ل = 1غ/1م^3 =1 جزء من المليون (بالوزن)

(2.8) 1 ما يكروغرام/ل = 1ملغم/1م^3 =1 جزء من البليون (بالوزن)

يمكن لممارس علم البيئة أن يشتغل على تراكيز النفايات السائلة والتي قد تكون عالية جداً بحيث أن الكثافة النوعية (نسبة وزن مادة الجسم إلى حجم مساوٍ من الماء) للخليط تتأثر، وفي هذه الحالة لابد من تصحيح المعادلة (7.2) (8.2) كالتالي:

(2.9) ملغم/ ل = جزء من المليون (بالوزن ppm) الكثافة النوعية

الغازات/الأبخرة Gases/Vapors

لمعظم أعمال تلوث الهواء، وكما جرت العادة، فإننا نعبر عن تراكيز الملوثات في صيغة حجمية. وعلى سبيل المثال، فإن تركيز ملوث غازي في أجزاء من

المليون هو حجم الملوث في مليون حجم من خليط الهواء . وذلك يعني:

ppm = أجزاء الملوث / مليون جزء من الهواء. أو

$$ppm = \frac{\text{أجزاء الملوث}}{\text{مليون جزء من الهواء}}$$

تعتمد حسابات تراكيز الغازات والأبخرة على قوانين الغازات:

- يتناسب حجم الغاز الموجود في درجة حرارة ثابتة بصورة عكسية مع الضغط.
- يتناسب حجم الغاز تحت ضغط ثابت تناسباً طرديًا مع درجة الحرارة على مقياس كلفن. يستند مقياس كلفن على الصفر المطلق.
- يتناسب ضغط الغاز في حجم ثابت تناسباً طردياً مع الحرارة المطلقة.

عند قياس تراكيز الملوثات، لابد أن تُعرَّف درجة الحرارة الجوية والضغط عند جمع العينات. في الظروف القياسية، فإن 1غرام – مول من الغاز المثالي يحتل حجماً مقداره 22 لتر. الظروف القياسية هي درجة حرارة 0 م^0 وضغط 760 ملليمتر زئبق . إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى 25 م^0 (درجة حرارة الغرفة) وظل الضغط ثابتاً، فإن 1 غرام من الغاز تحتل حجماً مقداره 24.45 لتر.

تحتاج في بعض الأحيان إلى أن تحول من المليغرامات في المتر المكعب (ملغم/ م^3) (الوزن في وحدة الحجم) إلى الحجم في وحدة الحجم . فإذا كان 1 غرام – مول من الغاز المثالي وعند درجة حرارة 25 م يحتل حجم 24,5 ل يمكن أن نحسب العلاقات التالية:

(2.10) ppm = م^3/24.45

الوزن الجزئي

(2.11) مغ/م^3 =الوزن الجزئي جمم

24.45

موجز الفصل Chapter Summary

علم البيئة، مثله مثل أي علم حقيقي، يستند إلى قاعدة من الملاحظة والتحليل الحسابي. تعمل الدورات الحيوية الجيوكيميائية والتي تحافظ على الحياه في كوكبنا على مستويات أبعد من ملاحظتنا العادية، وهي مشكله شائعة في التحليل العلمي. فمن دون معرفه أساسية بالدورات الجيوكيميائية الحيوية، وموقع الطاقة وأهميتها بكل الدورات الحياتية، ومعرفة أساسية بكيفية تقديم المعلومات المجمعة من البيئات التي درست في شكل كمي، فإنك لا تكون "قد تقدمت إلى حالة العلم" (لورد كلفن 1891)

أسئلة للمناقشه ومشكلات Discussion Questions and Problems

1. ميِّز بين الشغل والطاقة ؟
2. كيف يمكن أن نحافظ على مصادر الطاقة ؟
3. عَرِّف البيئة ؟
4. ماهي الدورات الجيوكيميائية الحيوية ؟ وكيف ترتبط بماضي، وحاضر، ومستقبل أشكال الحياة ؟
5. صف عدة فوائد لحيوان يحتل أكثر من مستوى غذائي واحد؟
6. تتبع المسار الذي قد يتبعه الكربون أثناء دورانه عبر الأنظمة البيئية الأرضية. وليكن ذلك شاملا لأربعة كائنات حية على الأقل.
7. كيف يختلف التثبيت الحيوي للنيتروجين عن التثبيت الجوي ؟
8. مستخدماً القانون الثاني للديناميكا الحرارية، إشرح لماذا يحدث تناقص حاد في الطاقة ذات الجودة العالية في كل خطوة من السلسة الغذائية، وما إذا كان فقدان الطاقة في كل خطوة خرقاً للقانون الأول للديناميكا الحرارية؟ أوضح.
9. اقترح طرقاً يمكن من خلالها تعديل أنظمة النقل بحيث تحدث تحسناً بيئياً مقارنة بالممارسات الحالية؟

10.اشرح الفرق بين النظام البيئي، الموضع اللائق، والمسكن. إعطِ أمثلة لكل منها.

11. ضغط البخار لمحلول مذيب (الوزن الجزيئي = 100) في درجة حرارة 25 م و1 ضغط جوي تساوي 400 ملليمتر زئبق. إحسب التركيز الناتج من إنسكاب كبير في مساحه ضيقة إذا لم يتم تنظيفها. عبر عن الإجابة بوحدات جزء من المليون وملغ / م^3.

12. كم مولاً من CCl_4 السائل يجب أن تتبخر في كيس بسعة 5 لتر في درجة حرارة 25 م^0 و1 ضغط جوي إذا رغبنا في الحصول على تركيز نهائي 25 ppm (حجم/حجم).

13. درجة جودة الهواء القياسية للأوزون هي 0.08 جزء من المليون. عبر عن هذه الدرجة بوحدات مايكروغرام/ م في واحد ضغط جوي في درجة حرارة 25 م

14. يحتوي غاز عوادم السيارات 1 % من الحجم غاز أول أوكسيد الكربون. عبر عن هذا التركيز في صيغة ملغ/ م في درجة حرارة 20 م و1 ضغط جوي.

15. درجة جودة الهواء القياسية الفيدرالية لغاز أول أوكسيد الكربون (إستناداً إلى 8 ساعات من القياس) هي 9 جمم. عبر عن هذه الدرجة القياسية كنسبة بالحجم وكذلك في صيغة ملغ/ م^3 وذلك في ضغط جوي1 ودرجه حرارة 20 م.

16. إشرح لماذا يحد تركيز الفسفور في التربة من نموالنباتات على اليابسة، ولماذا يحد الفسفور أيضاً من نمو المنتجات في مجاري المياه العذبة والبحيرات.

مواضيع ومشاريع مقترحه للبحث

Suggested Research Topics and Projects

- إبحث الأنشطة البشرية التي تؤثر على الدورات الحيوية الجيوكيميائية.

- إبحث كيف يؤثر الفسفور على الأجسام المائية.
- إجر تحليلاً لتوازن الكتلة في منطقة ما.
- طوّر تعريفاً موسعاً للقانونين الأول والثاني للديناميكا الحرارية.
- إبحث الأنشطة البشرية التي تؤثر على أنمطة المناخ العالمية.
- تتبع كيف تتحرك الطاقة عبر نظام بيئي.
- إبحث التقنيات الممكنة للحفاظ على مصادر الطاقة.
- قم بزيارة مجرى مائي قريب وحدد المنتجات الرئيسية، والمستهلكات، والكائنات الحية المتغذية على الفتات والمفككات.

المراجع المثبتة Cited Reference

Odum, E. P. *Ecology: The Link between the Natural and the Social Sciences*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1975.

———. *Fundamentals of Ecology*. Philadelphia: Saunders College Publishing, 1971.

المراجع المقترحة Suggested References

Bolin, B., and R. B. Cook. *The Major Biogeochemical Cycles and Their Interactions*. New York: Wiley, 1983.

Colinvaux, P. *Ecology*. New York: Wiley, 1986.

Ehrlich, P. R., A. H. Ehrlich, and J. P. Holdren. *Ecoscience: Population, Resources, and Environment*. San Francisco: Freeman, 1977.

Kormondy, E. J. *Concepts of Ecology*. 3rd ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1984.

Manahan, S. E. *Environmental Science and Technology*. Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers, 1997.

Odum, E. P. *Basic Ecology*. Philadelphia: Saunders College Publishing, 1983.

Porteous, A. *Dictionary of Environmental Science and Technology*. New York: Wiley, 1992.

Ramade, F. *Ecology of Natural Resources*. New York: Wiley, 1984.

Smith, R. E. *Ecology and Field Biology*. New York: Harper & Row, 1980.

Spellman, F. R. *Stream Ecology and Self-Purification for Wastewater and Water Specialists*. Lancaster, Pa.: Technomic, 1996.

Wanielista, M. P., Y. A. Yousef, J. S. Taylor, and C. D. Cooper. *Engineering and the Environment*. Monterey, Calif.: Brooks/Cole Engineering Division, 1984.

الفصل الثالث

الكيمياء البيئية

Environmental Chemistry

العرض المبهر خالد. الشمس دائماً ما تكون مشرقة في مكان ما، والندى لايجف كلية مرة واحدة، والغيث يهبط دائماً، وإلى الأبد تتصاعد الأبخرة. الشروق دائم، وكذلك الفجر والغسق في البحر واليابسة والمد، كل في حينه مع دوران الأرض.

–جون موير

أهداف الفصل

بعد دراسة هذا الفصل يجب أن تكون قادراُ على أن:

- تُناقش وتُعرَّف حالات المادة الثلاث، ومكونات كل منها وخصائصها الفيزيائية والكيميائية والقوانين الحاكمة لها.
- تُعرَّف وتُناقش العناصر والمركبات وتسميتها وآلية عملية التسمية.
- تُعرِّف وتُطَبق وتستخدم المعلومات الموجودة في الجدول الدوري بصورة صحيحة: ويشمل ذلك التصنيف، والتركيب الذري، والبنية الدورية.
- تحسب الاوزان والصيغ الذرية.
- تُعرَّف وتُناقش اوجه التشابه والإختلاف بين الروابط والمركبات الأيونية والتساهمية.
- تُطَبق وتُناقش كيف تتسبب وتؤثر الخواص الحرارية على بعض المواد.
- تُطَبق وتُناقش خواص الأس الهيدروجيني، والأحماض والقواعد والأملاح.
- تُعرَّف، وتصف وتُناقش أوجه الشبه والإختلاف بين الكيمياء العضوية والكيمياء العامة.

خطة الفصل

Chapter objectives

- مُناقشة: الكيمياء وعلم المحيط.
- تَعريف ومُناقشة: الكيمياء والمادة.
- تَعريف ومُناقشة: العناصر والمركبات.
- تَعريف ومُناقشة: تصنيف العناصر.
- تَعريف ومُناقشة: التغيرات الكيميائية والفيزيائية، والروابط الكيميائية.
- تَعريف ومُناقشة: التركيب والعدد الذري والوزن الذري.
- تَعريف ومُناقشة: التصنيف الدوري والقانون الدوري.
- تَعريف ومُناقشة: الذرات والعناصر والمركبات والأيونات.
- تَعريف ومُناقشة: الروابط الكيميائية والروابط الايونية والتساهمية وكيفية تكوين المركبات.
- تَعريف ومُناقشة: الصيغ والمعادلات الكيميائية.
- تَعريف ومُناقشة: حساب الأوزان والصيغ الجزيئية.
- تَعريف ومُناقشة: مميزات نوعين من خصائص المادة.
- تَعريف ومُناقشة الحالات الصلبة والسائلة والغازية وكيفية تأثير درجة الحرارة على التغيرات في ما بين هذه الحالات.
- تَعريف ومُناقشة: الحالة الغازية والضغط والحجم ودرجة الحرارة.

- تَعريف ومُناقشة: السوائل والمحاليل والمذيبات والمواد المركزة والتشبع.
- تَعريف ومُناقشة: الخواص الحرارية للمواد الكيميائية، ووحدات القياس والوحدات السعراتية.
- تَعريف ومُناقشة: معادلة الأحماض والقواعد ومقياس الأس الهيدروجيني.
- تَعريف ومُناقشة الكيمياء العضوية، والمركبات العضوية، والتركيب الجزيئي والهايدروكربونات.
- تَعريف ومُناقشة الكيمياء من حيث إرتباطها بعلم البيئة.

مصطلحات أساسية

إمتصاص	absorption	حمض	acid
إدمصاص	adsorption	تجمع	aggregate
هايدروكربون اليفاتي	aliphatic hydrocarbon	القلوية	alkalinity
الألكانات	alkanes	الألكينات	alkenes
الألكاينات	alkynes	تحليل	analysis
لا هو ائي	anaerobic	محلول مائي	aqueous solution
هايدروكربونات أروماتية أو عطرية	aromatic hydrocarbons	عدد ذري	atomic number
مداري ذري/غلاف إلكتروني	atomic orbital/electronic shell	وزن ذري	atomic weight

Avogadro's number	رقم أفوغادرو	atoms	ذرات
boiling point	درجة غليان	base	قاعدة
chemical bonds	روابط كيميائية	calorie	سُعر
chemical equation	معادلة كيميائية	chemical change	تغيير كيميائي
chemical reaction	تفاعل كيميائي	chemical formula	صيغة كيميائية
color	لون	colloidal	غروي
concentrated solution	محلول مركز	compound	مركب
density	كثافة	covalent bond	روابط تساهمية
electron	الكترون	dilute solutions	محاليل مخففة
hydrocarbon	هايدروكربون	elements	عناصر
ideal gas law	قانون الغاز المثالي	formula weight	وزن الصيغة
inorganic substance	مادة غير عضوية	gas	غاز
ionic bonds	روابط أيونية	greenhouse effect	تأثير الدفيئة (البيت الزجاجي)
latent heat of fusion	الحرارة الكامنة للإنصهار	heat	حرارة

leaching	الرشح، رشاحة	latent heat of evaporation	الحرارة الكامنة للتبخر
metalloids	أشباه الفلزات	liquid	سائل
metals	فلزات	melting point	درجة إنصهار
nonmetals	اللافلزات	mixture	خليط
nutrient	مغذي	molar concentration (molarity)	التركيز المولاري(المولارية)
organic chemistry	كيمياء عضوية	mole	مول
parent material	المادة الأم	molecular weight	وزن جزيئي
particulate matter	المادة الحبيبية	molecule	جزيئ
period	دورة	neutron	نيوترون
sewage	مياه الصرف الصحي	periodic law	القانون الدوري
solid	صلب	periodic table	الجدول الدوري
solubility	ذوبان	ph	الأس الهيدروجيني
solute	مذاب	photochemical smog	الضبخان الكيميائي الضوئي
solvent	مذيب	physical change	التغير الفيزيائي
specific heat	الحرارة النوعية	precipitate	راسب
standard	درجة الحرارة	pressure	ضغط

temperature and pressure	والضغط القياسيين		
synthesis	تخليق، توليد	proton	بروتون
valence	تكافؤ	saturated solution	محلول مشبع

مقدمة Introduction

لماذا نحتاج لدراسة الكيمياء في علم المحيط أو البيئة؟ بصورة عامة، ضع في إعتبارك ما يلى، على مستوى أساسي: تؤثر الكيمياء على كل ما نفعل. ولا تمر ثانية واحدة لا نتأثر فيها بطريقة أو بأخرى بمادة كيميائية، أو بعملية كيميائية، أو بتفاعل كيميائي. الكيمياء تؤثر على كل منحى من مناحي حياتنا. وبصورة أكثر تحديداً، ضع في إعتبارك أن لكل مشكلة بيئية ولكل مشكلة تلوث نواجهها اليوم (وكذلك المشاكل التي قد نواجهها في الغد) أساساً كيميائياً. ويمكن القول بإختصار أن تفحص المشاكل البيئية الملحة في علم البيئة – والتي تشمل تأثير الدفيئة، ونضوب الأوزون، وتلوث المياه الجوفية، والنفايات السامة، وتلوث الهواء، وتلوث الجداول، والمطر الحمضي– من دون إمتلاك معرفة أساسية بالمفاهيم الكيميائية الأساسية هو أمر صعب إن لم يكن مستحيلاً. وبالطبع، يتحتم على العاملين في مجال البيئة والذين يتوجب عليهم حل المشكلات البيئية، وفهم عمليات التنظيف العلاجية، مثل أنظمة التحكم بالإنبعاثات ومنشأآت معالجة النفايات، أن يكونوا على معرفة عميقة بالمبادئ الكيميائية والتقنيات الكيميائية بصورة عامة، لأن العديد من هذه التقنيات تستخدم لحل المشكلات البيئية.

قد يمتلك دارس علم البيئة أو القارئ المهتم (أولا يمتلك) لهذا الكتاب بعض المعرفة الأساسية بالكيمياء. وعليه، أختيرت مواضيع هذا الفصل بهدف مراجعة

(او تقديم) المبادئ الكيميائية الأساسية التي يحتاج اليها لفهم طبيعة المشاكل البيئية التي نواجهها، ولعرض الكيمياء ذات الصلة بالمقاربات العلمية والتقنية لحلول هذه المشاكل.

ما هي الكيمياء؟

What is Chemistry

الكيمياء هي العلم المعني بتكوين المادة (الغازات، والسوائل، والمواد الصلبة) والتغيرات التي تحدث لها في ظل ظروف محددة. كل مادة أو غرض أو جسم موجود في البيئة هو مادة كيميائية أو خليط من مواد كيميائية. وجسمك مصنوع، من المواد الكيميائية، من الآلاف من هذه المواد حرفياً. والغذاء الذي نتناوله، والملابس التي نرتديها، والوقود الذي نحرقه، وكل الفيتامينات التي نتناولها من الموارد الطبيعية والمصنعة هي منتجات الكيمياء، الموجودة في الطبيعة أو التي صنعها البشر. تعنى الكيمياء بالمادة: تكوينها الحقيقي، ومكوناتها، وإتساقها. أي إن الكيمياء تعمل على قياس المادة ومعرفة كمياتها.

ما هي المادة؟ توجد كل المواد في واحدة من حالات ثلاث: غازية، وسائلة، وصلبة. وتتكون المواد من جسيمات دقيقة تدعى **بالجزيئات (molecules)**، وهي كيانات دائمة الحركة يمكن تقسيمها الى **ذرات**.

تُعرَّف الجزيئات التي تحتوي على عنصر واحد **بالعناصر (elements)**؛ بينما تدعى تلك التي تحتوي على أنواع مختلفة من الذرات **بالمركبات (Compounds)**.

تنتج المركبات الكيميائية بالفعل الكيميائي الذي يغير من إنتظام الذرات في الجزيئات المتفاعلة. ويمكن أن تكون الحرارة، أو الضوء، أو الإهتزازات، أو الفعل الحفزي، أو الإشعاع، أو الضغط، أو حتى الرطوبة (لحالات التأين) ضرورية لإحداث التغير الكيميائي. ويدعى تفحص المركبات ومكوناتها المحتملة **بالتحليل (analysis)**، وبناء المركبات من العناصر المكونة لها

بالتخليق (Synthesis). وحينما توضع المواد مع بعضها البعض من دون حدوث تغيير في بنيتها الجزئية فإنها تسمى **مخاليط** (mixtures).

تتكون المواد **العضوية** (organic) في الواقع من المواد التي تحتوي على كربون. وتدعى المواد الأخرى كلها بالمواد **غير العضوية** (inorganic).

العناصر والمركبات

Elements and Compounds

المادة النقية (pure substance) هي مادة فصلت منها كل المواد الأخرى. تشمل المواد النقية (لا يمكن تمييز عينات المواد النقية عن بعضها البعض، بغض النظر عن الطريقة التي تنقى بها هذه المواد وبغض النظر عن أصلها) معدن النحاس، والألمونيوم، والماء المنقى، وسكر المائدة، والأوكسجين. وعينات سكر المائدة كلها تتطابق مع بعضها البعض ولا يمكن تمييزها من عينات السكر الأخرى.

تتميز المواد بإحتوائها على تركيب محدد، عادةً ما يعبر عنه بالنسبة المئوية من الكتلة. على سبيل المثال يتكون الماء المنقى، والذي هو مادة نقية، من هيدروجين بنسبة 11 %، وأوكسجين بنسبة 89% من كتلته. ولغرض توضيح الفرق لا تعتبر كتلة الفحم مادة نقية لأن نسبة الكربون فيها تتراوح بين 35% الى 90% من الكتلة. المواد الشبيهة بالفحم، والتي هي مواد غير نقية تُعرَّف بالمخاليط. وحينما يكون من الممكن تفكيك المواد الى مادتين أو أكثر من المواد البسيطة، فإن هذه المواد تُعرَّف بالمركبات.

وحينما لا يمكن تفكيك المواد الى مكونات أبسط من المادة فإنها تدعى عناصر. والعناصر هي المواد الأساسية التي تتكون منها المواد كلها. وفي الوقت الحالي يوجد ما يزيد على المائة عنصر من العناصر المعروفة، إلاّ أن هناك ما يزيد عن عدة ملايين من المركبات المعروفة. ومن هذه العناصر التي يربو عددها عن المائة، توجد 88 منها بكميات يمكن الكشف عنها في

الأرض، والعديد من هذه العناصر الثمانية والثمانين نادرة الوجود. تكون عشرة عناصر 99% بالتقريب من كتلة القشرة الأرضية، ويشمل ذلك الطبقة السطحية، والغلاف الجوي، والأجسام المائية (إنظر الجدول 1.3). ومن هذا الجدول، يمكن أن نرى أن الأوكسجين هو أكثر العناصر وفرةً في الأرض، من العناصر التي توجد بصورة حرة في الغلاف الجوي، كما توجد أيضاً في هيئة متحدة مع العناصر الأخرى في عدد كبير من المعادن والخامات.

يسرد الجدول 1.3 كذلك الرموز والاوزان الذرية للعناصر العشرة المذكورة. وتتكون رموز هذه العناصر إما من حرف واحد أو من حرفين، ويكتب الحرف الاول في الهيئة الكبيرة (capital) (في اللغة الإنجليزية). **الوزن الذري** للعنصر هو عدد البروتونات الموجودة في نواة ذلك العنصر.

تصنيف العناصر

Classification of Elements

يمكن تصنيف العناصر كلها على أنها فلزات، أولا فلزات، أو أشباه فلزات. عادة ما تكون **الفلزات** (metals) مواد صلبة لامعة، وموصلات جيدة للحرارة وللكهرباء، كما أنها تنصهر وتغلي عند درجات حرارة مرتفعة، ولها كثافة عالية نسبياً، وهي قابلة للطرق في العادة (يمكن تحويلها لصفائح بالطرق)، كما يمكن سحبها (تحويلها الى أسلاك). من أمثلة الفلزات النحاس، والحديد، والفضة، والبلاتين. والفلزات كلها بالتقريب هي مواد صلبة (ولا توجد بينها غازات) في درجة حرارة الغرفة (والاستثناء الوحيد هو الزئبق).

تدعى العناصر التي لا تمتلك الخواص الفيزيائية العامة التي سردناها للتو(والتي على عكس ما ذكر، تعمل كموصلات رديئة للحرارة وللكهرباء، كما أنها غير لامعة، وتقل كثافتها عن كثافة الفلزات) **باللافلزات (nonmetals)**. عند درجة حرارة الغرفة، تكون اللافلزات في العادة مواد صلبة أو غازية (والإستثناء هنا هو البروم–الذي هو مادة سائلة). ويمثل النتروجين،

والأوكسجين، والفلور، أمثلة للفلزات الغازية، بينما يمثل الكبريت، والكربون، والفسفور أمثلة اللافلزات الصلبة.

وتمتلك العديد من العناصر خواصّ تشابه تلك المميزة للفلزات وللافلزات. وتدعى هذه العناصر **بأشباه اللافلزات** (metalloids). أشباه اللافلزات هي البورون، والسيليكون، والجيرمانيوم، والزرنيخ، والتليريوم، والأنتيمون، والبولونيوم.

التغيرات الفيزيائية والكيميائية

Physical and chemical changes

تحافظ الأواصر بين وحدات المادة (بين ذرة وأخرى) على تركيبها الثابت. تدعى هذه العناصر **بالروابط الكيميائية** (Chemical bonds). حينما تحدث عملية معينة تتضمن كسر وهذه الروابط فإننا نقول إن **تغيراً كيميائياً**، أو **تفاعلاً كيميائياً** قد حدث. في علم البيئة، تمثل عمليتي الإحتراق والصدأ أمثلة على التغيرات الكيميائية التي تؤثر على البيئة.

دعنا نتناول بإيجاز بعض الأمثلة على التغير الكيميائي. حينما يوضع لهب بالقرب من خليط الهيدروجين والأوكسجين، فإن تفاعلاً عنيفاً سوف يحدث. في هذا التفاعل تكسر الروابط التساهمية الموجودة في جزيئات مول من الهيدروجين (H_2) وجزيئات مول من الأوكسجين (O_2) وتتكون روابط جديدة ينتج عنها جزيئ الماء (H_20).

والنقطة الأساسية التي ينبغي تذكرها هي أنه سواء كسرت الروابط الكيميائية أو تكونت، أو حدثت كلا العمليتين، فإن تغيراً كيميائياً يكون قد حدث. يمر الأوكسجين والهيدروجين بتغير كيميائي لإنتاج الماء، وهو مادة لها خواص جديدة.

وحينما يسخن أوكسيد الزئبقيك، وهو بودرة حمراء، فإن كتلاً صغيرة من الزئبق تتكون، ويتحرر غاز الأوكسجين. وبهذا يكون أوكسيد الزئبق قد تحول بصورة كيميائية الى جزيئات الزئبق وجزيئات الماء.

الجدول 1.3 العناصر المكونة ل 99% من قشرة الأرض، المحيطات، والغلاف الجوي

العناصر	الرمز	النسبة المئوية للمكون%	الرقم الذري
الأوكسجين	O	%49.5	8
السيليكون	Si	%25.7	14
الألمونيوم	Al	%7.5	13
الحديد	Fe	%4.7	26
الكالسيوم	Ca	%3.4	20
الصوديوم	Na	%2.6	11
البوتاسيوم	K	%2.4	19
المنجنيز	Mn	%1.9	12
الهيدروجين	H	%1.9	1
التيتنيوم	Ti	%0.58	22

وبخلاف ما سبق، فإن التغير الفيزيائي (التغير غير الجزيئي) هو التغير الذي لا تمر فيه البنية الجزيئية بتحول. عندما تتجمد المواد، أو تذوب، أو تتحول الى بخار، فإن تركيب كل جزيئ لا يتغير. على سبيل المثال، يتكون كل من الثلج، وبخار الماء، والماء السائل من جزيئات تتكون بدورها من ذرتي هيدروجين وذرة أوكسجين. يمكن تمزيق مادة ما الى قطع صغيرة، أو طحنها الى مسحوق، أو صبها في أشكال مختلفة من دون تغيير الجزيئات بأي طريقة من الطرق.

وأنواع السلوك التي تبديها مادة ما أثناء مرورها بتغير كيميائي تُعرَّف بالخواص الكيميائية. بينما تُعرَّف خصائص المادة التي لا تضمن أي تغير في خواصها الكيميائية **بالخواص الفيزيائية**. يمكن تمييز كل المواد من بعضها البعض بواسطة هذه الخواص بالطريقة ذاتها التي تميز بها بعض الملامح (الحمض

النووي الريبي منقوص الأوكسجين) بين شخص وآخر.

تركيب الذرة

The Structure of the Atom

إذا قسمت قطعة صغيرة من عنصر ما، النحاس على سبيل المثال، ثم قُسِّمت واستمر في تقسيمها الى حين الوصول الى أصغر قطعة ممكنة، فإن النتيجة هي جسيم من النحاس. هذه الوحدة الأصغر التي تمتلك خواصَّ ممثلة للمادة تسمى بالذرة.

وبالرغم من أنها بالغة الصغر، الا أن الذرة تتكون من جسيمات، هي بالأساس الإلكترونات، والبروتونات، والنيوترونات. تتكون أصغر الذرات الممكنة من نواة بها **بروتون** (جسيم ذو شحنة موجبة) منفرد و**إلكترون** (جسيم ذو شحنة سالبة) منفرد يتنقل حولها- ذرة الهيدروجين، والتي نقول إن وزنها الذري يساوي واحداً لإحتوائها على بروتون واحد. يساوي الوزن الذري لعنصر ما مجموع البروتونات والنيوترونات الموجودة في نواة ذلك العنصر. وتحمل الإلكترونات والبروتونات عدداً متساوياً من الشحن، إلاّ أن هذه الشُحن متعاكسة.

لذرة الهيدروجين عدد ذري يساوي واحداً لإحتوائها على بروتون واحد. ويساوي العدد الذري لعنصر ما عدد البروتونات الموجودة في نواة ذلك العنصر. للذرات المتعادلة نفس العدد من البروتونات والإلكترونات، لذلك يساوي الرقم الذري عدد الإلكترونات الموجودة في الذرة. ويكون عدد النيوترونات الموجودة في الذرة مساوياً لعدد البروتونات (او زائداً عنه) ما عدا في ذرة الهيدروجين.

توجد البروتونات والنيوترونات في نواة الذرة. بينما توجد الإلكترونات بصورة رئيسية في مناطق الفراغ المحيطة بالنواة، والتي تدعى **بالمداريات الذرية** أو **الأغلفة الإلكترونية** (**atomic orbitals or atomic shells**). ولا يمكن الا لعدد محدد من الإلكترونات أن يوجد في كل غلاف ذري. وبإستثناء الهيدروجين (الذي يوجد فيه إلكترون واحد)، يوجد إلكترونان بالقرب من النواة،

في الغلاف الداخلي الأعمق. وفي معظم الذرات توجد الإلكترونات الأخرى في الأغلفة الإلكترونية التي توجد على مسافة ما من النواة.

وعلى الرغم من أن الذرات المتعادلة لنفس العنصر تحتوي على العدد ذاته من الإلكترونات والبروتونات، إلاّ أن أنوية هذه العناصر قد تتباين في عدد نيوتروناتها. وتسمى ذرات العناصر نفسها التي تحتوي على أعداد مختلفة من النيوترونات بنظائر العنصر.

التصنيف الدوري للعناصر

Periodic Classification of the Elements

إكتشف العلماء، من خلال التجربة، أن الخواص الكيميائية للعناصر تعيد نفسها. ويلخص الكيميائيون هذه الملاحظات في **القانون الدوري (Periodic table):** تختلف خواص العناصر بصورة دورية بإختلاف أرقامها الذرية.

في العام 1869، طور ديمتري مندلييف، مستخدماً الكتل الذرية، الصيغة الأولية لما يعرف اليوم بإسم **الجدول الدوري**، وهو قائمة بالعناصر مرتبة بصورة تصاعدية بحسب تزايد أعداد بروتوناتها، لكي يوضح التشابه بين الخواص الكيميائية والتراكيب الإلكترونية المرتبطة بها. توجد العناصر في أعمدة رئيسية تدعى **بالمجموعات (groups)**. نزولاً الى أسفل كل مجموعة، نجد أن ذرات العناصر كلها في المجموعة تمتلك بنية الغلاف الخارجي نفسها لكننا نجد أن عدد الأغلفة الداخلية يتزايد. في العادة، توضع العناصر القلوية في شمال الجدول الدوري، كما ترقم المجموعات بالطريقة الآتية (IAالى VIIA ، وIB الى VIIB، ويعطى الرقم 0 لمجموعة الغازات الخاملة). في الوقت الحالي، الطريقة الأكثر شيوعاً هي أن نصنف العناصر الموجودة كلها في منتصف الجدول الدوري على أنها عناصر إنتقالية كما نعتبر العناصر غير الإنتقالية بإعتبارها عناصر المجموعات الرئيسية، وتأخذ مجموعات هذه العناصر الأرقام من I–VII، في الجدول الدوري وتأخذ مجموعة العناصر

الخاملة الرقم 0. تسمى الصفوف الأفقية في الجدول الدوري **بالدورات (Periods)**. وتسمى الدورات الثلاث الأولى **بالدورات القصيرة**؛ بينما تسمى الدورات الأربع التي تلى هذه (والتي تشمل العناصر الإنتقالية) **بالدورات الطويلة**. في داخل كل دورة، تحتوي ذرات كل العناصر على العدد نفسه من الأغلفة الإلكترونية، الا أن هذه العناصر تحتوي على أعداد متزايدة من الإلكترونات في أغلفتها الخارجية.

الشكل 1.3 عنصر الصوديوم بالطريقة التي يظهر بها في الصناديق الأفقية في الجدول الدوري

الجدول الدوري أداة مهمة في تعلم الكيمياء لأنه ينظم، ويجدول، ويقدم مجموعة من المعلومات بصورة لحظية، إذ يمكن، على سبيل المثال، تحديد الرقم الذري للعنصر بصورة لحظية، لأن هذه الأرقام موجودة في الجدول الدوري (إنظر الشكل 1.3). كما يمكننا أن نتُعرَّف إلى ما إذا كان العنصر فلزياً، أو غير فلزي، أو شبه فلزي. عادة ما يفصل خط متعرج سميك بين الفلزات واللافلزات، بينما تصنف العناصر التي تقع على جانبي هذا الخط بإعتبارها أشباه فلزات. تقع الفلزات على شمال الخط، وتقع اللافلزات على يمين الخط.

الجزيئات والأيونات

Molecules and Ions

حينما توجد عناصر من غير الغازات النبيلة (التي توجد في هيئة ذرات منفردة) في الحالة الغازية أو السائلة في درجة حرارة الغرفة، فإنها توجد في هيئة وحدات ثنائية من الذرات. تسمى هذه الوحدات بالجزيئات. على سبيل المثال، عادة ما نصادف الأوكسجين والهيدروجين، والكلور، والنيتروجين على هيئة

غازات. وتوجد كل واحدة من هذه الغازات في هيئة جزيئ من ذرتين. يرمز الى هذه الجزيئات بالرموز الآتية N_2، Cl_2، H_2، O_2 على الترتيب.

والوحدة الأصغر في عدد من المركبات هي الجزيئ. تتكون جزيئات المركبات من ذرات عنصرين أو أكثر. يتكون جزيئ الماء، على سبيل المثال، من ذرتي هايدروجين وذرة أوكسجين (H_2O). بينما يتكون جزيئ الميثان من أربع ذرات من الهيدروجين وذرة كربون واحدة (CH_4).

لا توجد كل المركبات في الطبيعة على هيئة جزيئات. بل يوجد بعضها في شكل تجمعات من الذرات ذات الشحنات المتعاكسة تدعى **بالأيونات**. يقود فقدان أو إكتساب الذرات للإلكترونات الى جعل الذرات مشحونة. وتصبح ذرات الفلزات التي تفقد الإلكترونات موجبة الشحنة بينما تصبح اللافلزات التي تكتسب الإلكترونات سالبة الشحنة.

الترابط الكيميائي

Chemical Bonding

حينما تتكون المركبات، تصبح ذرات عنصر ما ملتصقة أو متحدة مع ذرات عنصر آخر بقوى تُعرَّف **بالروابط الكيميائية (Chemical bonds)**. الترابط الكيميائي هو قوة تجاذب قوية تمسك الذرات سوية في هيئة جزيئ. توجد العديد من صيغ الترابط الكيميائي. ويمكن لإنتقال الإلكترونات أن يؤدي الى تكوين **الروابط الأيونية (Ionic bonds)**. على سبيل المثال، لذرة الكالسيوم، تركيب إلكتروني يشمل وجود الكترونين في الغلاف الخارجي. وإذا ما نقلت ذرة الكالسيوم إلكترونيها هذين لذرتي كلور، كل على حدة، فإنها سوف تأخذ التركيب الإلكتروني لغاز خامل. وفي الوقت ذاته، تصبح ذرتا الكلور التي إكتسبت كل واحدة منها إلكتروناً واحداً، أيون كلوريد، له نفس التركيب

الإلكتروني للغاز الخامل. ويكون الترابط في كلوريد الكالسيوم هو التجاذب الإلكتروستاتيكي ما بين الأيونات.

تتكون الروابط التساهمية بإشتراك إلكترونات **التكافؤ** (Valence) (عدد الإلكترونات التي تفقدها ذرة ما أو تكتسبها لكي تحصل على غلاف خارجي الكتروني مكتمل). لذرات الهيدروجين، على سبيل المثال، الكترون خارجي واحد. في جزيئ الهايدروجين، تتحكم كل ذرة هايدروجين بإلكترونين– الكترون واحد يخصها وآخر يخص الذرة الأخرى– لكي تحصل على التركيب الإلكتروني للغاز الخامل. في جزيئ الماءH_2O ، تتحكم ذرة الأوكسجين ذات الإلكترونات الست، بإلكترونين إضافيين توفرهما ذرتا الهيدروجين. وبالنسق ذاته، تكتسب كل ذرة هيدروجين تحكماً في إلكترون إضافي من ذرة الأوكسجين.

عادة ما تُصنّف المركبات الكيميائية الى مجموعتين بناءاً على طبيعة الترابط بين الذرات. وكما يمكنك أن تتوقع، تدعى المركبات الكيميائية التي تتكون من ذرات مترابطة مع بعضها البعض بواسطة الروابط الأيونية **بالمركبات الأيونية** **(Ionic compounds)**. بينما تدعى المركبات التي تترابط ذراتها بواسطة الروابط التساهمية **بالمركبات التساهمية** **(Covalent compounds)**.

توجد العديد من الفروقات المثيرة للإهتمام بين معظم المركبات الأيونية والتساهمية. على سبيل المثال، للمركبات الأيونية درجات إنصهار وغليان أعلى من نظيرتها التساهمية، كما إن ذوبانية المركبات الأيونية في الماء تفوق ذوبانية المركبات التساهمية. والمركبات الأيونية غير قابلة للإشتعال، بينما المركبات التساهمية قابلة للإشتعال. كما توصل المركبات الأيونية المذابة في المحاليل المائية الكهرباء، بينما لا توصل المركبات التساهمية المذابة الكهرباء. عادة ما توجد المركبات الأيونية على هيئة مواد صلبة في درجة حرارة الغرفة.

الصيغ الكيميائية والمعادلات

Chemical Formulas and Equations

طور العلماء طريقة مختصرة لكتابة **الصيغ الكيميائية.** تمثل العناصر بمجموعة من الرموز تدعى بالصيغ. أحد المركبات الشائعة هو حمض الكبريتيك؛ وصيغته هي H_2SO_4 تشير هذه الصيغة الى أن هذا الحمض يتكون من ذرتي هايدروجين، وذرة كبريت، وأربع ذرات من الأوكسجين. غير أن هذه ليست بوصفة لصنع الحمض. إذ إن هذه الصيغة لا تخبرك عن الكيفية التي يمكنك أن تحضر بها الحمض، وإنما تخبرك أن هذه المادة هي عبارة عن حمض ليس إلاّ.

تخبرنا **المعادلة الكيميائية** (Chemical equation) عن العناصر والمركبات الموجودة قبل التفاعل الكيميائي وبعده. يتسبب حمض الكبريتيك الذي يصب على الخارصين في إطلاق الهيدروجين وتكوين كبريتات الخارصين، كما هو واضح من المعادلة الآتية:

$$\underset{\text{(الخارصين)}}{Zn} + \underset{\text{(حمض الكبريتيك)}}{H_2SO_4} \Rightarrow \underset{\text{(كبريتات الخارصين)}}{ZnSO_4} + \underset{\text{(الهيدورجين)}}{H_2} \qquad (1.3)$$

تتحد ذرة واحدة (تمثل جزيئاً واحداً) من الخارصين مع جزيئ واحد من حمض الكبريت لتعطي جزيئاً واحداً من كبريتات الخارصين وجزيئاً واحداً (ذرتين) من الهيدروجين. لاحظ أن عدداً متساوياً من الذرات لكل عنصر يوجد على جانبي السهم. الا أن الذرات تتحد مع بعضها البعض بطرق مختلفة.

الاوزان الجزيئية، والصيغ، والمول

Molecular Weights, Formulas, and the Mole

يدعى الوزن الجزيئي للمركب الذي يوجد في الهيئة الجزيئية **بالوزن الجزيئي (molecular weight)**، والذي هو مجموع أوزان الذرات الداخلة في تكوين المركب كلها. ضع في الإعتبار جزيئ الماء. يحدد الوزن الجزيئي لجزيئ الماء كالآتي:

ذرتي هايدروجين = $1.008 \times 2 = 2.016$

ذرة أوكسجين = $1 \times 15.999 = 15.999$ (2.3)

الوزن الجزيئي للماء = 18.015

بناء على ما سبق، يمكننا القول إن الوزن الجزيئي للمركب هو ببساطة مجموع الأوزان الذرية للذرات المكونة له. إذا قسمنا كتلة المادة على الوزن الجزيئي فإن ناتج عملية القسمة هذه هو عدد **المولات** (moles) أو (المول). عادة ما يعبر عن الكتلة بالغرامات، وفي هذه الحالة يعبر عن المولات على هيئة جم–مول؛ وبالطريقة ذاتها، إذا ما عبرنا عن الكتلة بالأرطال، فإن الناتج هو رطل–مول. يحتوي 1غم–مول على 6.022×10^{23} من الجزيئات (**رقم أفوغادرو**، على شرف العالم الذي كان أول من أقترح وجود هذا الرقم)، ويساوي الرطل–مول، حوالى 2.7×10^{26} من الجزيئات.

(3.3) عدد المولات = الكتلة/ الوزن الجزيئي

ويسمى الوزن النسبي للمركب الذي يوضح في شكل وحدة صيغة **بوزن الصيغة (formula weight)**، وهو مجموع الأوزان الذرية لكل الذرات التي تكون وحدة صيغة واحدة. يتحدد وزن الصيغة لفلوريد الصوديوم كما يلي:

1 أيون صوديوم = 22.990

1 أيون فلوريد = 18.998

وزن الصيغة لفلوريد الصوديوم = 41.988

الخواص الفيزيائية والكيميائية للمادة

Physical and Chemical Properties of Matter

يوجد نوعان من الخواص (الخصائص): الخواص الفيزيائية والكيميائية. الخواص الفيزيائية للمادة هي تلك الخواص التي لا تتضمن تغيراً في التركيب الكيميائي للمادة. تشمل هذه الخواص العسرة، واللون، والتوصيلية الكهربائية، والتوصيلية الحرارية، والحرارة النوعية، والكثافة، ودرجة الإنصهار. قد تتغير

هذه الخواص مع تغير درجة الحرارة أو الضغط. تُعرَّف التغيرات التي لا تمس التركيب الكيميائي **بالتغيرات الفيزيائية** (physical Changes). حينما يعرض الثلج الصلب للحرارة فإنه يتحول الى سائل (ماء)، ولا تؤدي هذه العملية لتكوين مادة جديدة، الا أنها تغير من مظهر المادة ؛ الذوبان تغيَّر فيزيائي. وتشمل الأمثلة الأخرى للتغير الفيزيائي ذوبان السكر في الماء، وتسخين قطعة المعدن، وتبخير الماء.

والخواص الفيزيائية التي عادة ما تستخدم لوصف أنواع معينة من المادة وللتُعرَّف إليها هي الكثافة، واللون، والذوبانية. و**الكثافة –density–** (d) هي الكتلة على وحدة الحجم ويعبر عنها بهذه المعادلة:

d = الكتلة/الحجم (5.3).

لكل المواد وزن كما أنها تحتل حيزاً من الفراغ؛ وللمواد كثافة أيضاً، وتعتمد هذه على الوزن وعلى الفراغ. ونحن عادة ما نقول أن مادة ما لن تطفو في الماء لأنها أثقل منه. وما نقصده حينئذ أن هذه المادة أكثر كثافة من الماء. وتختلف كثافة كل عنصر عن كثافة العناصر الأخرى. ويعبر عن كثافات السوائل والمواد الصلبة بوحدات الغرام/ السنتميتر المكعب (غم/سم^3). وميزة استخدام الخاصية الفيزيائية مثل اللون هو أننا لا نحتاج حينها لاختبار فيزيائي أو كيميائي. يقصد **بالذوبانية (solubility)** الدرجة التي تذوب بها مادة ما في سائل ما، مثل الماء. في العلم البيئي، تعد الكثافة، واللون، وذوبانية مادة ما من الخواص الفيزيائية المهمة التي تساعد في التُعرَّف إلى عدد من الملوثات، ودرجة التلوث، ودرجة معالجتها، كما تساعد أيضاً في التُعرَّف إلى الأفعال العلاجية المطلوبة من أجل تنظيف إنسكابات المواد السامة/الخطرة أو تنظيف المشاكل البيئية الأخرى.

وتُعرَّف الخواص ذات الصلة بتحول مادة الى أخرى بالخواص الكيميائية. على سبيل المثال، حينما تحرق قطعة من الخشب، يتحد أوكسجين الهواء مع المواد

الموجودة في الخشب لتكوين مواد جديدة. وحينما يصدأ الحديد، فإنه وخلال عملية الصدأ هذه، يتحد الأوكسجين مع الحديد والماء لتكوين مادة جديدة تدعى بصدأ الحديد. وتُعرَّف التغييرات التي ينتج عنها مواد جديدة بالتغيرات الكيميائية.

حالات المادة

State of Matter

توجد ثلاث حالات (او أطوار) للمادة (الحالة الصلبة، والسائلة، والغازية) ولكل منها خصائص مميزة. في الحالة الصلبة، تكون الذرات أو الجزيئات مثبتة نسبياً في موضعها. وتتذبذب الجزيئات بوتيرة سريعة، إلاّ أن هذا التذبذب يحدث حول نقطة ثابتة. وبسبب هذا الوضع المحدد للجزيئات، تحافظ الحالة الصلبة على الشكل. وتحتل المواد الصلبة حجماً محدداً من الفراغ كما أن لها شكلاً ثابتاً.

وحينما تخفض درجة حرارة الغاز، فإن جزيئاته تبطئ من حركتها. وإذا ما تمت عملية التبريد هذه بدرجة كافية، فإن الجزيئات تبطئ بدرجة تجعلها تفقد الطاقة التي تحتاجها للحركة السريعة عبر الإناء. وحينها قد يتحول الغاز الى سائل. تشمل السوائل الشائعة الماء، والزيت، والجازولين. والسائل هو المادة التي تحتل حجماً محدداً من الفراغ ، إلاّ أنها تأخذ شكل الإناء الذي توضع فيه.

وفي بعض المواد، تفتقر الذرات أو الجزيئات الى أي شكل من أشكال الإنتظام. وتدعى هذه المواد بالغازات. والأوكسجين، وثاني أوكسيد الكربون، والنيتروجين هي من الغازات الشائعة. والغاز هو مادة تأخذ حجم وشكل الإناء الذي توضع فيه بالضبط.

على الرغم من أن حالات المادة الثلاث التي تمت مناقشتها أنفاً تبدو مألوفة لمعظم الناس، إلاّ أن التحول من حالة الى أخرى يشغل بالأساس المختصين في مجال البيئة. وتغيرات المادة التي تشمل تحول بخار الماء من الحالة

الغازية الى الترسيب السائل، وتحويل المادة السائلة المنسكبة الى مادة شبه صلبة (عن طريق إضافة المواد الكيميائية التي تساعد في مجهودات التنظيف) هما إثنتان من الطرق التي يؤثر بها التحول من حالة إلى أخرى على المواضع التي تهم البيئة.

قوانين الغازات

The Gas Laws

يتكون الغلاف الجوي من خليط من الغازات، وأكثرها توفراً هو النيتروجين والأرغون، وثاني أوكسيد الكربون، وبخار الماء (تُناقش الغازات والغلاف الجوي بتفصيل أكثر لاحقاً). ضغط الغاز هو القوة التي تمارسها جزيئات الغاز المتحركة على وحدة المساحة. ووحدة الضغط الشائعة هي النيوتون على المتر المربع، . N/m^2، والتي تدعى باسكال (Pa). توجد علاقة مهمة بين الضغط والحجم، ودرجة حرارة الغاز. وتُعرَّف هذه العلاقة بقانون الغاز المثالي، ويمكن النص عليها كما يلي:

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \qquad (6.3)$$

حيث T_1،V_1 P_1 هي الضغط، والحجم، ودرجة الحرارة المطلقة في زمن 1، وT_2،V_2 P_2 هي الضغط، والحجم، ودرجة الحرارة المطلقة في زمن 2. ويدعى غاز ما بالمثالي، أو الكامل إذا أطاع هذا القانون.

تم إختيار درجة الحرارة 0 درجة مئوية (273 درجة كلفن) وضغط يساوي 1 جو كدرجة الحرارة والضغط القياسيين. وعند درجة الحرارة والضغط القياسيين يكون حجم 1 مول من الغاز المثالي هو 22.4 لتر.

السوائل والمحاليل

Liquids and Solutions

أكثر المحاليل شيوعاً هي السوائل. إلاّ أن المحاليل، والتي هي مخاليط متجانسة، يمكن أن تكون صلبة أو غازية، أو سائلة. وتُعرَّف المادة التي توجد

بكمية زائدة في المحلول بالمذيب. بينما تُعرَّف المادة المذابة بالمذاب. وتُعرَّف المحاليل التي يكون المذيب فيها هو الماء بالمحاليل المائية. والمحاليل التي يوجد فيها المذاب بكميات قليلة تدعى بالمحاليل المخففة. وإذا ما وجد المذاب بكميات كبيرة فإن المحلول يسمى حينئذ بالمحلول المركز. وحينما يذاب المقدار الأقصى من المذاب في المذيب، فإن هذا المحلول يسمى بالمحلول المشبع.

عادة ما يعبر عن التركيز (مقدار المذاب الذي تمت إذابته) بالتركيز المولاري. والتركيز المولاري، أو المولارية هو عدد المولات مقسوماً على عدد لترات المحلول. لذا فإن المحلول الذي يعبر عن تركيزه كالآتي: 1.0 M، يتكون من واحد غرام–وزن صيغة من المذاب تمت إذابته في لتر من المحلول. وبصورة عامة

المولارية = عدد مولات المذاب/عدد لترات المحلول (7.3)

لاحظ أننا استخدمنا عدد لترات المحلول، ولم نستخدم عدد لترات المذيب.

مثال: تمت إذابة 40 غم من كلوريد الصوديوم، أو ملح الطعام، في الماء، وكان حجم المحلول مساوياً لـ 0.8 لتر. ما هو التركيز المولاري، M، لكلوريد الصوديوم في المحلول الناتج؟

الإجابة: تحصل على عدد مولات الملح.

عدد المولات = 40 جم/(58.5 جم/مول) = 0.68 مول (8.3)

المولارية = 0.68 مول/ 0.8 لتر = 0.85 M.

الخواص الحرارية

Thermal Properties

الخواص الحرارية للمواد الكيميائية والمواد الأخرى مهمة لممارسي علم البيئة. وتستخدم هذه المعرفة في التخفيف من وطأة إنسكابات المواد الخطرة وفي حل الكثير من المشكلات البيئية المعقدة الأخرى. الحرارة شكل من أشكال الطاقة. وفي كل مرة ينجز فيها شغل ما، فإن كميات كبيرة من الطاقة يتم إنتاجها

بواسطة عملية الإحتراق. ويخبرنا قانون بقاء الطاقة أن مجموع الشغل الذي تم القيام به إضافة الى الطاقة الحرارية المنتجة ينبغي أن يتساويا مع مقدار الطاقة الحرارية التي كانت موجودة بالأصل. أي إن:

الطاقة الكلية = الشغل المنفذ + الحرارة المنتجة (10.3)

وبوصفنا علماء بيئة، أو فنيين، و/او ممارسين، فإننا نعنى بعدد من الخواص ذات الصلة بالحرارة لمواد معينة. والخواص الحرارية التي يجب أن نكون على دراية بها سوف تُناقش في الأقسام التالية.

إحدى الوحدات التقليدية التي تستخدم لقياس الطاقة الحرارية هي السعر. ويعرف السعر على أنه مقدار الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة غرام واحد من الماء النقي بمقدار درجة مئوية واحدة عند الضغط الجوي العادي.

وباستخدام وحدات النظام العالمي نجد أن

1 سعر = 4.186 جول.

ولا ينبغي أن نخلط بين السعر الذي عرفناه للتو تلك السعر التي تستخدم حين الحديث عن الحميات الغذائية والتغذية. يساوي كيلو سعر (1000 سعرة) كما عَرفّناه- مقدار الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة واحد كيلوغرام من الماء بمقدار درجة مئوية واحدة.

وفي النظام البريطاني للوحدات، تكون وحدة الحرارة هي الوحدة الحرارية البريطانية، أو (btu). وتساوي وحدة حرارة بريطانية واحدة مقدار الحرارة اللازم لرفع درجة حرارة رطل من الماء بمقدار درجة فهرنهايت واحدة عند الضغط الجوي العادي (1 tm).

الحرارة النوعية Specific heat

أشرنا في ما سبق الى أن واحد كيلوسعر من الحرارة يلزم لرفع درجة حرارة واحد كيلوغرام من الماء بمقدار درجة مئوية واحدة. وتحتاج المواد الأخرى مقادير مختلفة من الحرارة لرفع درجة حرارة واحد كيلوغرام منها. والحرارة النوعية لمادة

ما هي مقدار الحرارة، بالكيلوسعرات اللازمة لرفع درجة حرارة واحد غرام من المادة بمقدار درجة مئوية واحدة.

ووحدات الحرارة النوعية هي كيلوسعر/كيلوغرام درجة مئوية، أو باستخدام وحدات النظام العالمي، جول/كيلوغرام درجة مئوية. وتبلغ الحرارة النوعية للماء على سبيل المثال 1,000 كيلوسعر، أو 4186 جول/كيلوغرام درجة مئوية.

وكلما كانت الحرارة النوعية لمادة ما مرتفعة، تطلبت هذه المادة حرارة أكثر. كذلك، كلما زادت كتلة المادة زاد مقدار التغير المطلوب في درجة الحرارة، تطلب ذلك حرارة أكبر.

ويعرف مقدار الحرارة اللازمة لتحويل واحد كيلوغرام من المادة الصلبة الى سائل عند نفس درجة الحرارة بالحرارة الكامنة للإنصهار لتلك المادة. وتُعرَّف درجة الحرارة التي يحدث فيها هذا التغير من مادة صلبة الى أخرى سائلة بدرجة الإنصهار. ويعرف مقدار الحرارة اللازم لتغيير واحد كيلوغرام من سائل الى غاز بالحرارة الكامنة للتبخر. وحينما يوصل الى هذه النقطة، فإن كتلة المادة جميعها تتحول الى الحالة الغازية. وتُعرَّف درجة الحرارة التي يحدث فيها تحول المادة هذه من سائل الى غاز بدرجة الغليان.

حمض + قاعده = ملح + ماء

حينما تتحد الأحماض والقواعد بالنسب الصحيحة فإنها تعادل بعضها البعض، وتفقد هذه المواد خصائصها المميزة وتكون الملح والماء.

$$NaCl + HCl = NaCl + H_2O \quad (12.3)$$

التي تعني:

حمض + قواعد => أملاح

يرجع منشأ مفهوم حمض–قاعدة–ملح الى بدايات الكيمياء وهو مفهوم مهم جداً في العمليات البيئية والحيوية، وفي المواد الكيميائية المستخدمة في الصناعة.

وكلمة حمض مشتقة من الكلمة اللاتينية أسيدسوس، التي تعنى الحمض.

والمذاق الحامض هو أحد خواص الأحماض (إلاّ أنه لا ينبغي لك أبداً أن تتذوق الأحماض لا في مختبرك ولا في أي مكان آخر). والحمض هو مادة تعطي أيونات الهيدروجين عند ذوبانها في الماء، كما أن لها الخواص الآتية:

1. توصل الكهرباء.
2. لها مذاق حامض.
3. تغير لون ورقة عباد الشمس الى اللون الأحمر.
4. تتفاعل مع القواعد لكي تعادل خواصها.
5. تتفاعل مع الفلزات وتحرر غاز الهيدروجين.

والقاعدة هي مادة تنتج أيونات الهيدروكسيد ، و/او تكتسب البروتونات، حينما تذاب في الماء، كما أن لها الخواص الآتية:

1. توصل الكهرباء.
2. تغير لون ورقة عباد الشمس الى اللون الأزرق.
3. لها مذاق مر وملمس زلق.
4. تتفاعل مع الأحماض وتعادل خواصها الحمضية.

مقياس الأس الهيدروجيني pH scale

إحدى الطرق الشائعة لتحديد ما إذا كان محلول ما حمضياً أو قاعدياً هي قياس تركيز أيونات الهيدروجين (H^+) في المحلول. ويمكن أن يعبر عن التراكيز بالرقم 10 مرفوعاً لقيم مختلفة، لكن من السهل التعبير عن هذه التراكيز بواسطة الأس الهيدروجيني. على سبيل المثال، للماء النقي تركيز يبلغ $1x10^{-7}$ غرام من أيونات الهيدروجين/لتر. تسمى القوة السالبة لتركيز أيونات الهيدروجين بالأس الهيدروجيني للمحلول. يبلغ الأس الهيدروجيني للماء 7، وهو محلول متعادل. ولمحلول يبلغ تركيزه $1x10^{-12}$ أس هيدروجيني يبلغ 12. يدل الأس الهيدروجيني الذي تقل قيمته عن 7 على حمضية المحلول؛ بينما

تدل قيمة الأس الهيدروجيني التي تزيد على 7 على قاعدية المحلول (إنظر الجدول 2.3).

الجدول 2.3 مقياس الأس الهيدروجيني المعياري

الأس الهيدورجيني	تركيز أيونات الهيدورجين السالبة	حمضي/قاعدي
1	$10x10^{1-}$ مول/لتر	شديد الحمضية
2	$10x^{-}10^{2-}$ مول/لتر	
3	$10x10^{3-}$ مول/لتر	
4	$10x10^{4-}$ مول/لتر	
5	$10x10^{5-}$ مول/لتر	
6	$10x10^{6-}$ مول/لتر	حمضي
7	**$10x^{-}10^{7-}$ مول/لتر**	**متعادل**
8	$10x10^{8-}$ مول/لتر	قاعدي
9	$10x10^{9-}$ مول/لتر	
10	$10x10^{10-}$ مول/لتر	
11	$10x10^{11-}$ مول/لتر	
12	$10x10^{12-}$ مول/لتر	
13	$10x10^{13-}$ مول/لتر	
14	$10x10^{14-}$ مول/لتر	شديد القاعدية

تختلف قيم الأس الهيدروجيني للمحاليل التي توجد في بيئتنا. وتفاعلات الأحماض والقواعد هي واحدة من أهم أنواع التفاعلات في علم البيئة. ومعرفة قيم الأس الهيدروجيني ضرورية بصورة خاصة لتشخيص عدد من المشاكل البيئية (مشاكل الأمطار الحمضية، وانسكابات المواد الخطرة في البرك والبحيرات). والمعالجة والوقاية مهمتان بدورهما. ومن أجل حماية الأنظمة البيئية المحلية نحتاج في العادة لأن نعادل النفايات قبل أن تطلق في البيئة. ويمكن رؤية أحد المناحي المهمة للتحكم في الأس الهيدروجيني في معالجة النفايات (معالجة النفايات)، حيث يكون من الضروري إزالة الهيدروجين، لأن عدم إزالة النتروجين سوف يحفز نمو الطحالب في أجسام المياه المستقبلة (يعطي الجدول 3.3 قيماً تقريبية للأس الهيدروجيني لبعض المواد الشائعة).

الجدول 3.3 المواد وقيم الأس الهيدورجيني لها

المادة	الاس الهيدورجيني
حمض البطارية	0.0
العصير المعدي	1.2
الليمون	2.3
الخل	2.8
المشروبات الغازية	3.0
التفاح	3.1
القريب فروت	3.1
النبيذ	3.2
البرتقال	3.5
الطماطم	4.2
البيرة	4.5
الموز	4.6
الجزر	5.0
البطاطس	5.8
القهو ة	6.0
اللبن(البقر)	6.5
الماء الصافي متعادل	**7.0**
الدم(الإنسان)	7.4
البيض	7.8
ماء البحر	8.5
لبن الماغنيسيوم	10.5
منظف الفرن	13.0

الكيمياء العضوية

Organic Chemistry

الكيمياء العضوية هي فرع الكيمياء الذي يعنى بمركبات الكربون. وعلم الكيمياء العضوية علم معقد ومتنوع بدرجة لا تصدق. وهناك ملايين المركبات العضوية المعروفة في عالمنا اليوم، وتمثل ما يزيد على 100,000 من هذه المركبات نواتج لعملية التخليق، أي إن هذه المركبات لم تكن موجودة في الطبيعة في

الأصل. ولا نستطيع في هذا الكتاب غير أن نعرض سوى مقدمة بسيطة لبعض المركبات العضوية الأكثر شيوعاً والمهمة لعلم البيئة (بسبب سميّتها كملوثات وكمواد خطرة)، بحيث تكون على دراية بهذه المواد التي سوف تصادفك لاحقاً في هذا الكتاب.

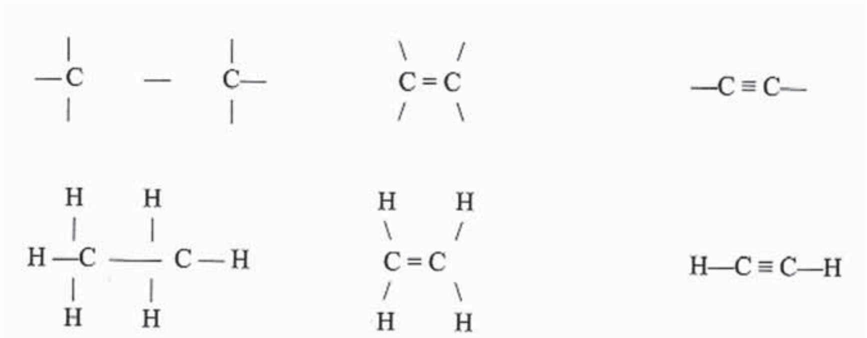
قبل العام 1828، ظن العلماء أن المواد العضوية لا يمكن أن تنتج إلا بواسطة النباتات والحيوانات (الأشياء الحية). إلا أنه في ذلك العام، صنع فريدريك فولر (Friedrich Wohler) اليوريا من سيانات الأمونيوم. نقض إكتشاف فولر من النظرية التي كانت تقول بأن اليوريا (وكافة المركبات العضوية) لا يمكن أن تصنع إلا من قبل الكائنات الحية. وبسبب إكتشافه هذا ولدت الكيمياء العضوية. والمركبات العضوية هي مكونات مألوفة يحتاجها عالمنا المعتمد على التقنية هذه– وقود المحركات ووقود التدفئة، والمواد اللاصقة، ومذيبات التنظيف، ومواد الطلاء، ومواد الزينة، والبلاستيك، والمواد المبردة، وأنواع الهباء، والمنسوجات، والألياف، والراتنجات ومواد أخرى كثيرة.

ومن منظور علم البيئة، فإن مصدر القلق الأساسي من المركبات العضوية هو أن بعضها يلوث بيئات الهواء، والماء، والتربة. ولهذا السبب فإنها تشكل خطراً على الصحة وعلى السلامة. كما أن هذه المواد قابلة للاشتعال مع وجود بعض الإستثناءات. ومن وجهة نظر الصحة، نرى أن لهذه المركبات المقدرة على التسبب بإحداث مدى واسع من الآثار الصحية. فبعض هذه المركبات لها المقدرة على إلحاق الضرر بكلى، وبكبد، وبقلب البشر؛ بينما يؤثر بعضها الآخر على الجهاز العصبي المركزي؛ ويشك في تسبب بعضها الآخر بإحداث السرطان. وإذا ما كان البشر معرضين لخطر هذه المواد على الصحة، فإن السؤال المنطقي الذي يطرحه علماء البيئة هو : ما تأثير هذه المواد على النظام البيئي الهش؟

المركبات العضوية Organic compounds

لجزيئات المركبات العضوية صفة مشتركة وهي: وجود ذرة كربون واحدة أو أكثر مرتبطة بروابط تساهمية مع ذرات أخرى؛ أي إن هذه الذرات تتشارك أزواجاً إلكترونية فيما بينها. ويمكن لذرة الكربون أن تتشارك ألكتروناتها مع الذرات اللافلزية الأخرى أو مع ذرات الكربون الأخرى. وكما يوضح الشكل 2.3 لجزيئات الميثان، رباعي كلوريد الكربون، وثاني أوكسيد الكربون، وأول أوكسيد الكربون تراكيب تترابط فيها ذرات الكربون مع ذرات اللافلزات الأخرى.

الشكل 2.3 يوضح ذرات كربون تتشارك الكتروناتها مع ذرات اللافلزات الأخرى، مثل الهيدروجين، والكلور، والأوكسجين. والمركبات التي تنتج من مشاركة الإلكترونات هذه هي الميثان، ورباعي كلوريد الكربون، وأول أوكسيد الكربون على الترتيب.



الشكل 3.3 قد تتشارك ذرتا كربون الكتروناتهما بأي واحدة من الطرق الثلاث الموضحة. وحينما ترتبط ذرات الكربون هذه مع ذرات الهيدروجين فإن المركبات الناتجة هي الإيثان، والإيثين، والأستلين على الترتيب.

وحينما تتشارك ذرات الكربون ألكتروناتها مع ذرات الكربون الأخرى، فإن ذرتي كربون قد تتشاركان في الكتروناتهما لكي تكونا الآتي: رابطة أحادية بين ذرتي

الكربون(C–)، رابطة ثنائية بين ذرتي الكربون(C=C) أو رابطة ثلاثية بين ذرتي الكربونC≡C وكل رابطة موضحة هنا في شكل خط(__) هي عبارة عن زوج الكتروني مشترك. يوضح الشكل 3.3 الترابط في مركبات الإيثان، والإيثين، والأستلين، وهذه المركبات تحتوي على ذرتي كربون وحدها. يحتوي مركب الإيثان على رابطة أحادية بين ذرتي الكربون، بينما يحتوي جزيئي الإيثين على رابطة ثنائية بين ذرتي الكربون، ويحتوي جزيئي الأستلين على رابطة ثلاثية بين ذرتي الكربون المكونتين له. ويمكن للروابط التساهمية في ذرات الكربون الموجودة في جزيئات المركبات العضوية الأكثر تعقيداً أن تربط بين الذرات في شكل سلاسل، بما فيها السلاسل الجانبية، أو أن تربط الذرات في شكل حلقات.

الهايدروكربونات Hydrocarbons

أبسط المركبات العضوية هي الهايدروكربونات، وهي المركبات التي تتكون من ذرات الكربون والهيدروجين وحدها. وتقسم الهايدروكربونات بصورة عامة الى مجموعتين كبيرتين: الهايدروكربونات الأليفاتية، والهايدروكربونات الأروماتية.

الهايدروكربونات الأليفاتية Aliphatic hydrocarbons

الهايدروكربونات الأليفاتية هي المركبات التي تتميز بانتظام ذرات الكربون المكونة لها في شكل سلسلة. وتقسم هذه المركبات الى الألكانات، والألكينات، والألكاينات.

الألكانات والتي تُعرَّف أيضاً بإسم البرفينات، هي هيدروكربونات أليفاتية مشبعة (بها الحد الأقصى من ذرات الهيدروجين) وصيغتها العامة هيC_nH_{2n+2}، وفي نظام التسمية الكيميائي النظامي تنتهي أسماء الألكانات بالمقطع "ان". وتشكل هذه المركبات السلسلة ميثان (CH_4)، إيثان (C_2H_6)، بروبان (C_3H_8)،

بيوتان (C_4H_{10})، الخ. والأعضاء الأصغر في هذه السلسة هي غازات؛ بينما تكون الأعضاء ذات الأوزان الجزيئية الأكبر منها مركبات شمعية صلبة. وتوجد الألكانات في الغاز الطبيعي وفي البترول.

الألكينات (الأوليفينات) مركبات هيدروكربونية غير مشبعة (يمكنها أن تأخذ الهيدروجين لكي تكون هيدروكربونات مشبعة) ويمكن أن تحتوي على رابطة ثنائية واحدة أو أكثر في تركيبها. وفي التسمية الكيميائية النظامية تنتهي أسماء الألكينات بالمقطع "ين". وتكون المركبات التي تحتوي على رابطة ثنائية واحدة سلسلة تبدأ بالإيثين–الغاز الذي يطلق عندما تتعفن الأطعمة–(الإيثلين)، CH_2CH_2؛ والبروبينCH_3CHCH_2، الخ.

الألكاينات (الأستلينات) هي هيدروكربونات غير مشبعة تحتوى على رابطة ثلاثية واحدة أو أكثر بين ذرتي كربون في جزيئاتها. تنتهي أسماء الألكاينات بالمقطع "اين" بحسب التسمية الكيميائية النظامية–الأستلين$H–C \equiv C-H$

المركبات الأروماتية Aromatic hydrocarbons

الهايدروكربونات الأروماتية هي مركبات غير مشبعة عضوية تحتوي على حلقة بنزين في جزيئاتها كما أن خواصها الكيميائية تشابه خواص البنزين، الذي هو سائل ، عديم اللون، صافي، وغير ذائب في الماء، ويتبخر بسهولة في درجة حرارة الغرفة، له الصيغة الجزيئيةC_6H_6 . تمثل البنية الجزيئية للبنزين في العادة بشكل مسدس تتوسطه دائرة كما هو موضح في أدناه:

كيمياء المحيط أو البيئة

Enviromental Chemistry

إن كيمياء المحيط هي خليط من كيمياء الماء، والجو، والتربة، و"الكيمياء" التي تنتجها الأنشطة البيئية في هذه البيئات. ذكرنا سابقاً أن تركيز هذا الكتاب ينصب على الأوساط البيئية الرئيسية: الهواء، والماء، والتربة، كما ذكرنا أن

دمار أو فقدان أي واحد من هذه الأوساط سوف يتسبب في إنعدام الحياة كما نعرفها في الأرض. وهذا هو الوضع بالطبع، لذلك لا يمكننا هنا تجاهل التأثيرات البيئية التي تتسبب فيها الأنشطة البشرية.

والأمر بالغ الأهمية هو فهم حقيقة أن هذه الأوساط البيئية موجودة على الحالة التي هي عليها بسبب مبادئ علمية متداخلة النسج (بما فيها الكيمياء). ونحن مهتمون بالكيمياء التي تكون هذه الأوساط بنفس درجة إهتمامنا بالكيمياء التي تحافظ عليها أو تدمرها. ومع تقدمنا، سوف نشغل أنفسنا بالتأثير البيئي للأنشطة البشرية– التعدين، والأمطار الحمضية، والتعرية الناجمة من الممارسات الزراعية الرديئة، والتخلص من النفايات الخطرة، والتفاعلات الكيميائية الضوئية (الضبخان)، وملوثات الهواء التي تنتج من المادة الحبيبية ومن أثر الدفيئة، والأوزون ومشاكل تدهور المياه المرتبطة بالملوثات العضوية وغير العضوية، والحيوية. وهذه الأنشطة والمشاكل كلها لها علاقة ما بالكيمياء. كما أن معالجة هذه المشاكل والتخفيف منها وثيق الصلة بالكيمياء أيضاً.

والقول بأن علم البيئة، والدراسات البيئية، والهندسة البيئية مبنية على أساس متين من الكيمياء هو تعبير لا يفي الكيمياء حق قدرها من حيث أهميتها وصلتها بهذا الحقل.

أساسيات كيمياء الماء Water Chemistry Fundamnetal

في كل مرة نضيف فيها مادة كيميائية الى أخرى، مثل إضافة السكر الى الشاي، أو الكلور الى الماء من أجل جعله صالحاً للشرب، فإننا نقوم بمهام الكيمائيين. ونحن نعمل في هذه الحالة "ككيميائيين" لأننا نشتغل بمواد كيميائية بغرض الحصول على نتيجة بعينها.

ويسرد الجدول 4.3 أسماء بعض المواد الكيمائية وتطبيقاتها الشائعة في مجال معالجة المياه.

الجدول 4.3 المواد الكيميائية/المركبات الكيميائية المستخدمة في معالجة المياه

الإسم	التطبيق الشائع	الأسم	التطبيق الشائع
الكربون المنشط	التحكم في الطعم والرائحة	كبريتات الألمونيوم	تجلط الدم
الأمونيا	تطهير الكلورامين	كبريتات الأمونيوم	تجلط الدم
هيدروكسيد الكالسيوم	التخلص من عسر الماء	هيبوكلوريت الكالسيوم	التطهير
أوكسيد الكالسيوم	التخلص من عسر الماء	ثاني أوكسيد الكربون	إعادة الكربنة
كبريتات النحاس	التحكم في الطحالب	كلوريد الحديديك	تجلط الدم
كبريتات الحديديك	تجلط الدم	هيدروكسيد الماغنيسيوم	إزالة الفلور
الأوكسجين	التهو ية	برمنجنيتات البوتاسيوم	الأكسدة
ألومينات الصوديوم	تجلط الدم	بيكربونات الصوديوم	ضبط الأس الهيدورجيني
كربونات الصوديوم	التخلص من عسر الماء	كلوريد الصوديوم	تجديد المبادل الأيوني
فلوريد الصوديوم	الفلورة	فلوسيليكات الصوديوم	الفلورة
فوسفات الصوديوم	التحكم في الصدأ	هيدروكسيد الصوديوم	ضبط الأس الهيدورجيني
هيبوكلوريت الصوديوم	التطهير	سيليكات الصوديوم	المساعدة في تجلط الدم
ثيوكبريتات الصوديوم	إزالة الكلور	ثاني أكسيد الكبريت	إزالة الكلور
حمض الكبريتيك	ضبط الأس الهيدورجيني		

جزيئ الماء The water molecule

يعرف الناس كلهم تقريباً أن الماء مركب كيميائي يتكون من عنصرين بسيطين ومتوفرين- الهايدروجين والأوكسجين (H_2O). وعلى الرغم مما سبق ما زال العلماء يتجادلون حول مزايا النظريات المتنافسة حول تركيب الماء. وحقيقة الأمر أننا لا نعرف سوى القليل عن الماء. على سبيل المثال، نحن لا نعرف حتى كيفية عمل الماء.

وواقع الأمر أن الماء معقد جداً. للماء عدد من الخواص المتفردة الأساسية للحياة، كما أن هذه الخواص تحدد السلوك الكيميائي للماء في البيئة. جزيئ الماء مختلف. وتوجد ذرتا الهايدروجين (الرقم 2 في جزء H_2 من صيغة الماء) دائماً بحيث تكون الزاوية بينهما مساوية لـ 105 درجة بالتقريب. وتوجد شحنة جزئية سالبة على ذرة الأوكسجين، بينما توجد شحنة موجبة جزيئية على كلا ذرتي الهايدروجين. تعطي هذه الشحنة جزيئ الماء قطبية كهربية؛ أي إن أحد طرفي جزيئي الماء مشحون بشحنة سالبة بينما طرفه الآخر مشحون بشحنة موجبة. تجعل هذه الزاوية التي تبلغ 105 درجة من الماء جزيئاً أحادي الإتجاه، فريداً من نوعه، وغريب الصفات– يحطم جزيئ الماء كل القواعد.

في المختبر، لا يحتوي الماء النقي على أي شوائب، بينما يحتوى الماء الموجود في الطبيعة على مواد أخرى كثيرة غير الماء، وهذا أمر من المهم أن يوضع في الإعتبار من قبل أخصائي البيئة الذي توكل إليه مهمة الحفاظ على أنظف وأنقى ماء ممكن.

عادة ما يسمى الماء بالمذيب العالمي، وهذا الوصف مناسب عندما تجد أن الماء، إذا ما أتيح له الزمن الكافي، يمتلك المقدرة على إذابة كل شيئ وأي شيئ في الأرض.

المحاليل المائية Water solutions

المحلول هو خليط متجانس من مادتين أو أكثر، تكون فيه المواد ممتزجة بصورة منتظمة ومتساوية. يمكن أن تكون المحاليل صلبة، أو سائلة، أو غازية. وسنركز بصورة أساسية على المحاليل السائلة.

تتكون المحاليل من مكونين: مذيب ومذاب. والمذيب هو المكون الذي يقوم بعملية الإذابة. وعادة ما يوجد المذيب بكمية أكبر في المحلول. بينما المذاب هو المكون الذي تتم إذابته. وحينما يذيب الماء المواد ، فإنه يكون محاليل فيها العديد من الشوائب.

عادة ما تكون المحاليل شفافة وغير معتمة ومرئية للموجات الأطول من الأشعة فوق البنفسجية. ولأن الماء عديم اللون، فإن الضوء اللازم لعملية التخليق الضوئي يمكنه أن ينتقل إلى أغوار عميقة. غير أن المحاليل قد تكون ملونة حينما يكون المذاب متوزعاً بصورة منتظمة عبر المحلول ولا يترسب مع مرور الزمن.

حينما تذاب الجزيئات في الماء، فإن الذرات المكونة للجزيئات تتفكك في الماء. يسمى هذا التفكك في الماء بالتأين. وحينما تتفكك الجزيئات في الماء، فإنها تعطي ذرات مشحونة بشحنة سالبة وأخرى مشحونة بشحنة موجبة وتُعرَّف هذه الذرات المشحونة بالأيونات. تدعى الأيونات المشحونة بشحنات موجبة بالكاتيونات، بينما تدعى الجسيمات المشحونة بشحنة سالبة بالأنيونات.

أمثلة التأين:

$$CaCO_3 \leftrightarrow Ca^{++} + CO_3^{-2}$$

كربونات الكالسيوم ↔ أيون الكالسيوم (الكاتيون) + أيون الكابونات (الأنيون)

$$NaCl \leftrightarrow Na^{+} + Cl^{-}$$

كلوريد الصوديوم ↔ أيون الصوديوم (الكاتيون) + أيون الكلوريد (الأنيون)

بعض الأيونات التي توجد عادة في الماء موضحة في الشكل 4.3.

الأيون	الرمز
هيدروجين	H^+
صوديوم	Na^+
بوتاسيوم	K^+
كلوريد	Cl^-
بروميد	Br^-
أيوديد	I^-
بيكربونات	HCO_3^-

الشكل 4.3 الأيونات شائعة الوجود في الماء

تقوم المحاليل بالآتي: (1) تسمح للكيانات الكيميائية بأن تكون على مقربة من بعضها البعض بحيث يمكنها أن تتفاعل، (2) توفر مزيجاً متجانساً من المواد الصلبة (الطلاءات، والأحبار، والمواد الأخرى التي تستخدم في عملية الطلاء، على سبيل المثال) بحيث يسهل استخدامها على الأسطح؛ و(3) تذيب الزيوت والشحوم بحيث يمكن أن تزال بعيداً.
يذيب الماء المواد القطبية بصورة أفضل مقارنة بإذابته للمواد غير القطبية. على سبيل المثال، يمكن إزالة المواد القطبية (الأحماض المعدنية، والأملاح مثلاً) بسهولة في الماء. بينما لا تذوب المواد غير القطبية (على سبيل المثال، الزيوت، والشحوم، والمواد العضوية) بسهولة في الماء.

التراكيز Concentrations

ولأن خواص المحاليل تعتمد بصورة أساسية على المقادير النسبية للمذيبات والمذابات، فإنه ينبغي تحديد تراكيز كل.

نقطة رئيسية: يستخدم علماء الكيمياء مصطلحات نسبية (مشبع وغير مشبع على سبيل المثال) كما يستخدمون مصطلحات أكثر تحديداً (النسب الوزنية، والمولارية، والعيارية) عند مُناقشة، وتَعريف، ووصف المحاليل والمواد.

وعلى الرغم من أن المواد القطبية تذوب بصورة أفضل من ذوبان المواد الغير قطبية في الماء، الا أن هذه المواد القطبية تذوب الى درجة محددة؛ أي إن كمية محددة ليس أكثر من المذاب سوف تذوب عند درجة حرارة معينة. وحينما يصل المحلول الى هذه المرحلة نقول إن المحلول أصبح مشبعاً– حين يصبح المحلول مشبعاً فإنه يكون في حالة توازن– وعند هذه النقطة لا يمكن إذابة المزيد من المذاب.
يكون المحلول السائل أو الصلب فوق مشبع عندما يذيب المحلول مقداراً من

المذيب يفوق تركيزه عند الإتزان (عادة بالتسخين).

عادة ما تعطى تراكيز المحاليل بتحديد المقادير النسبية للمذاب والمذيب، أو عن طريق تحديد مقدار مكون واحد الى الكل. أحياناً تحدد تراكيز المحاليل بواسطة النسب الوزنية:

% للمذاب = (كتلة المذاب/الكتلة الكلية للمحلول)X 100

ولكي نفهم مفاهيم المولارية، والمولالية، والعيارية ينبغي علينا أولاً أن نعرف مفهوم المول. يعرف المول على أنه مقدار المادة الذي يحتوي على نفس عدد الأشياء (الذرات، أو الجزيئات، أو الأيونات) التي يحتوي عليها 12 جم من الكربون−12.

عن طريق التجربة، حُدد عدد أفوغادرو بـ 6.022×10^{23} (الى ثلاث خانات عشرية).

إذا كان مول من ذرات الكربون يحتوي على 12 جم، فما هي كتلة واحد مول من ذرات الهيدروجين؟

1. لاحظ أن الكربون أثقل بإثني عشرة مرة مقارنة بالهيدروجين.
2. لذلك نحتاج 12/1 من وزن الكربون لنحصل على نفس العدد من ذرات الكربون. يساوي مول واحد من الهيدروجين غراماً واحداً.

بالطريقة نفسها يمكننا القول أن:

- واحد مول من CO_2 = 12 + 2 (16) = 44 غم.
- واحد مول من Cl^- = 35.5 غم
- واحد مول من Ra = 226 غم

وتعبيرات أخرى، يمكن حساب عدد المولات إذا ما عرفنا صيغة "الأشياء".

تُعرَّف المولارية –molarity – (M) بأنها عدد مولات المذيب مقسومة على عدد لترات المحلول.

وقياس حجم المحلول أسهل من قياس كتلته.

M = عدد مولات المذاب/عدد لترات المحلول.

تُعرَّف المولالية (m) بإنها عدد مولات المذاب مقسوماً على عدد كيلوغرامات المذيب

المولالية (molality) = عدد مولات المذاب/عدد كيلوغرامات المذيب

نقطة رئيسية: لا تستخدم المولالية بنفس الوتيرة التي تستخدم بها المولارية، بإستثناء استخدامها في الحسابات النظرية.

عادة ما تستخدم العيارية (N) بدلاً من المولارية، خصوصاً في التعامل مع الأحماض والقواعد.

العيارية = عدد مكافئات المذيب/عدد لترات المحلول.

وباستخدام مصطلحات الأحماض والقواعد، يعرف المكافئ (او الوزن المكافئ الغرامي) بأنه المقدار الذي يتفاعل مع مول واحد من أيونات الهيدروجين أو أيونات الهيدروكسيد. على سبيل المثال:

مول واحد من حمض الهيدروكلوريك سوف يعطي مولاً واحداً من أيونات الهيدروجين:

لذلك 1 مول HCl = مكافئ واحد

ومول واحد من $Mg(OH)_2$ سوف يعطي مولين من OH^-

وبالطريقة ذاتها:

معيارية محلول H_3PO_4 ذومولارية تساوي 1 M تساوي 3 N

لمحلول H_2SO_4 ذوالمعيارية التي تبلغ 2 N مولارية مقدارها 1M

لمحلول NaOH ذوالمعيارية التي تبلغ 0.5 مولارية تساوي 0.5 M

لمحلول HNO_3 ذي المعيارية التي تبلغ 2 مولارية تساوي 2.

يعاير الكيميائيون محاليل الأحماض/القواعد من أجل تحديد معياريتها. كما تستخدم أدلة نقطة النهاية من أجل تحديد نقطة تعادل المحلول المعاير.

نقطة أساسية: إذا تطلبت معايرة 100 مل من حمض الهيدروكلوريك ذي العيارية التي تبلغ 1 100 مل من هايدروكسيد الصوديوم فلابد من أن تساوي معيارية هايدروكسيد الصوديوم 1.

التنبؤ بالذوبانية Predicting solubility

يصعب التنبؤ بالذوبانية، الا أن هناك العديد من القواعد التي تساعد في هذا الموضوع. وأولى هذه القواعد أن الشبيهات تذيب الشبيهات.

ذوبانية السوائل في السوائل Liquid – liquid solubility

السوائل التي تتشابه بنياتها، ولذا تتشابه القوى بين جزيئاتها، تذوب في بعضها البعض بصورة كاملة. على سبيل المثال يمكننا أن نتنبأ بصورة صحيحة بأن الماء والميثانول يذوبان في بعضهما البعض في النسب كلها.

ذوبانية المواد الصلبة في السوائل Liquid–solid solubility

دائماً ما تكون للمواد الصلبة ذوبانية محدودة في السوائل، وذلك بسبب اختلاف مقادير القوى بين الجزيئية بينها وبين السوائل. لذلك كلما اقتربت درجة حرارة المادة الصلبة من درجة حرارة الإنصهار إزداد مقدار التشابه بين المادة الصلبة وبين السوائل.

نقطة رئيسية: عند درجة حرارة معطاة، تكون المواد ذات درجة حرارة الإنصهار المنخفضة ذائبة بدرجة تفوق ذوبانية المواد ذات درجات حرارة الإنصهار المرتفعة.

والتركيب أيضاً مهم؛ على سبيل المثال، تكون المواد غير القطبية أكثر ذوبانية في المواد غير القطبية.

ذوبانية الغازات في السوائل Liquid–gas solubility

وكما كان عليه الحال مع المواد الصلبة، كلما تشابهت القوى بين

الجزيئية بين الغازات وبين السوائل إزدادت درجة الذوبانية. لذلك كلما إقتربت درجة حرارة المذيب من درجة غليان الغاز، زادت الذوبانية.

وإذا كان المذيب هو الماء، فإن عاملاً آخر هو الإماهة سوف يزيد من ذوبانية الأجسام المشحونة.

والعوامل الأخرى التي يمكن أن تؤثر بدرجة كبيرة على الذوبانية هي درجة الحرارة والضغط. وبصورة عامة، يؤدي رفع درجة الحرارة في العادة الى زيادة درجة ذوبانية المواد الصلبة في السوائل.

نقطة أساسية: عملية إذابة المواد الصلبة في السوائل هي في العادة عملية ماصة للحرارة (يتم فيها إمتصاص الحرارة)، لذلك يوفر رفع درجة الحرارة "وقوداً" لهذه العملية.

وعلى العكس مما سبق، فإن عملية إذابة الغازات في السوائل هي عملية طاردة للحرارة (تطلق منها الحرارة). لذا فإن خفض درجة الحرارة يزيد في العادة من ذوبانية الغازات في السوائل.

نقطة مثيرة للإهتمام: يسبب التلوث "الحراري" مشكلة بسبب إنخفاض درجة ذوبانية الأوكسجين في الماء عند درجات الحرارة المرتفعة.

للضغط تأثير ملحوظ على ذوبانية الغازات في السوائل. على سبيل المثال، عادة ما تعبأ المشروبات الغازية مثل ماء الصودا، عند ضغوط مرتفعة. وحينما تفتح علبة المشروب الغازي، يتسبب إنخفاض الضغط فوق السائل في خروج الغاز من المحلول على هيئة فقاقيع. وحينما يستخدم كريم الحلاقة فإن الغازات المذابة تخرج من المحلول جالبة معها السائل على هيئة رغوة.

الخواص التجمعية Colligative properties

تعتمد خواص بعض المواد على تراكيز أنواع المذابات ولا تعتمد على هويتها.

- إنخفاض ضغط البخار.

- إرتفاع درجة الغليان.
- إنخفاض درجة التجمد.
- الضغط الأسموزي.

والخواص التجمعية الحقيقية تتناسب بصورة مباشرة مع تراكيز المذابات، لكنها لا تعتمد أبداً على هوية هذه المذابات.

إنخفاض ضغط البخار Lowering of vapour pressure

إذا تساوت العوامل الأخرى كلها، فإن الضغط البخاري للماء الموجود فوق المادة السائلة النقية يكون أعلى من ضغط بخار الماء الموجود فوق ماء السكر. ويتساوى ضغط البخار فوق محلول تبلغ مولاليته 0.2 مع ضغط البخار فوق محلول يوريا ذي مولالية تساوي 0.2. ومقدار إنخفاض الضغط فوق محلول سكر ذي مولالية تساوي 0.4 تساوي ضعف ضغط البخار لمحلول سكر ذي مولالية تساوي 0.2.

تنقص المذيبات من ضغط البخار لأنها تنقص من تركيز جزيئات المذيب. ولكي يحافظ على حالة الإتزان، ينبغي أن ينقص تركيز بخار المذيب (ولذا ينقص ضغط البخار).

رفع درجة الغليان Raising the boiling point

تغلي المحاليل التي تحتوي على مواد غير متطايرة عند درجات حرارة تزيد على درجات الحرارة التي تغلي عندها المذيبات النقية. ويتناسب هذا الإرتفاع بصورة مباشرة مع زيادة تركيز المذاب في المحاليل المخففة. وتفسر هذه الظاهرة بإنقاص ضغط البخار الذي سبق شرحه.

إنخفاض نقطة التجمد Decreasing the freezing point

عادة ما تتجمد أو تذوب المحاليل عند درجة حرارة تقل عن درجة حرارة المذيب النقي إذا ما وجدت تراكيز منخفضة من المذاب.

نقطة أساسية: يميل وجود "الأجسام الغريبة" للتداخل مع عملية التجمد. لذلك يمكن تجميد المحاليل وحدها عند درجات حرارة تقل عن درجات حرارة المذيب النقي.
نقطة أساسية: نضيف مضادات التجمد للماء في سياراتنا من أجل انقاص درجة التجمد وزيادة درجة الغليان.

الضغط الأسموزي

يتحرك الماء بصورة تلقائية من منطقة الضغط البخاري المرتفع الى منطقة الضغط البخاري المنخفض.

وإذا سمح لهذه التجربة بالإستمرار، فإن كل المياه سوف ينتهي بها المطاف الى المحاليل. وسوف تحدث عملية شبيهة حينما يفصل الماء النقي من محلول مركز بواسطة غشاء شبه منفذ (غشاء يسمح بمرور جزيئات الماء وحدها).

الضغط الأسموزي هو الضغط الذي يكفي لمنع الأسموزية (osmosis) ليس إلاّ. وفي المحاليل المخففة، يتناسب الضغط الأسموزي بصورة مباشرة مع تركيز المذيب بغض النظر عن هويته.

وتتبع خواص المحاليل الإلكتروليتية نفس نزعة المحاليل غير الإلكتروليتية، لكنها تعتمد أيضاً على طبيعة المادة الإلكتروليتية وعلى تركيزها.

المواد الغروية/المستحلبات Colloids/emulsions

المحلول هو خليط متجانس من مادتين أو أكثر (ماء البحر، على سبيل المثال). والمحلول المعلق هو مزيج موقت من المذيب ومن الجسيمات غير الذائبة (الماء والرمل، على سبيل المثال). والمعلق الغروي هو مزيج من الجسيمات التي لا ترى بالعين المجردة لكنها ذات أحجام أكبر من أحجام الجزيئات المنفردة.

نقطة مهمة: لا تترسب الجسيمات الغروية بفعل الجاذبية وحدها.

تتكون المواد الغروية من:

- "محاليل" كارهة للماء من الجزيئات الكبيرة مثل البروتينات، وتتكون هذه المحاليل بصورة تلقائية في الماء.
- المحاليل المعلقة الكارهة للماء والتي تكتسب الثباتية من الشحنات الكهربائية المتنافرة.
- المذيلات، وهي مواد غروية خاصة بها "رؤوس" مشحونة محبة للماء و"أذيال" طويلة كارهة للماء.

عادة ما تصنف المواد الغروية بحسب الحالة الأصلية للأجزاء المكونة لها (أُنظر الجدول 4.3، ص...). يمكن أن تعزى ثباتية المواد الغروية بصورة رئيسية الى الإماهة وشحنة السطح، ويساعد كلا هذين العاملين في منع حدوث التماس والتخثر الذي يتبعه.

نقطة رئيسية: تم استخدام مستحلبات ذات أساس مائي، في العديد من الحالات، محل المذيبات العضوية (الطلاءات، والأحبار، وما الى ذلك)، على الرغم من أن هذه المركبات لا تذوب بسهولة في الماء.

وتتم إزالة الأنواع الغروية والمستحلبات في معالجة مياه الصرف الصحي بعدة وسائل، تشمل:

- التهييج
- الحرارة
- إضافة الأحماض
- التخثير (إضافة الأيونات)
- التلبيد (إضافة المجموعات الجسرية)

مكونات الماء Water constituents

يمكن للماء الموجود في الطبيعة أن يحتوي على عدد من المواد، أو أن يحتوي على ما نطلق عليه شوائب أو مكونات. وحينما يمكن لمكون ما أن يؤثر على

صحة مستخدم الماء، فإننا نسميه ملوثاً. يعمل المتخصصون في مجال البيئة على منع دخول هذه الملوثات الى الإمداد المائي وعلى إزالتها من إمدادنا المائي.

المواد الصلبة Solids

وبإستثناء الغازات، تساهم كل ملوثات الماء في محتواه من المواد الصلبة. وتحمل المياه الطبيعية كميات من المواد الصلبة الذائبة وغير الذائبة. والمواد الصلبة غير الذائبة هي مواد غير قطبية وذات أحجام كبيرة نسبياً، مثل الطمي، لا تذوب. يمكن تشتيت المواد الصلبة والتي تصنف بحسب أحجامها وحالتها، وخصائصها الكيميائية، وتوزيع أحجامها في الماء في هيئات معلقة أو أخرى مذابة. وبحسب الحجم، يمكن تصنيف المواد الصلبة في المياه الى:

- **مواد صلبة معلقة**
- **مواد صلبة يمكن ترسيبها**
- **مواد صلبة غروية**
- **مواد صلبة ذائبة**

المواد الصلبة الكلية هي تلك المواد الصلبة، سواء المعلقة أو المذابة، التي تبقى بعد إزالة الماء بواسطة عمليات التبخر. تشخص المواد الصلبة كذلك على أنها متطايرة أو غير متطايرة.

نقطة مهمة: وعلى الرغم من أن التَعريف التالي غير دقيق من وجهة نظر كيميائية بسبب أن بعض المواد المعلقة الدقيقة جداً يمكنها أن تمر عبر المرشحات، الا أن المواد الصلبة المعلقة تُعرَّف بأنها المواد التي يمكن إزالتها بواسطة الترشيح في الاختبارات المختبرية. وتُعرَّف المادة التي تمر عبر المرشح بأنها المواد الصلبة المذابة.

والمواد الصلبة الغروية هي جسيمات صلبة دقيقة الحجم الى درجة كبيرة يقل قطر الواحدة منها عن الميكرون؛ وهي صغيرة جداً (ومع ذلك تجعل الماء

عكراً) بحيث أنها لا تترسب حتى إذا تركت لفترة أيام أو سنين بدون أن تمس.

العكورة Turbidity

إحدى أولى الخصائص التي يلاحظها الناس في الماء هي درجة صفائه. والعكورة واحدة من حالات الماء التي يتسبب فيها وجود المادة المعلقة، التي ينتج عنها تشتيت وامتصاص أشعة الضوء. وبتعبيرات أكثر وضوحاً، يمكن القول بأن العكورة هي مقياس لخواص إنفاذ الماء للضوء. وتسمح المياه الطبيعية شديدة الصفاء (ذات العكورة المنخفضة) برؤية الأغوار العميقة. وتظهر المياه شديدة العكورة بمظهر قاتم. إلا أن الماء منخفض العكورة يمكن أن يحتوى على مواد صلبة مذابة. لا تتسبب المواد الصلبة المذابة في تشتيت الضوء أو في إمتصاصه؛ ولذا يبدو الماء صافياً. تتسبب عكورة الماء في مشاكل لمشغلي محطات المياه لأن المكونات التي تتسبب في العكورة العالية يمكنها أن تتسبب في مشاكل المذاق والرائحة كما أنها سوف تقلل من فعالية عمليات تعقيم المياه.

اللون Color

يمكن أن تكون المياه ملونة، الا أن لون المياه قد يكون مضللاً في العادة. على سبيل المثال يعتبر اللون ملمحاً جمالياً للمياه، لا تترتب عليه آثار صحية مباشرة. والكثير من الألوان التي ترتبط بالماء ليست "بألوان حقيقة" بل هي ألوان تنتج من العوالق الغروية (الألوان الظاهرية). ويمكن أن تعزى هذه الألوان الظاهرية الى التانينات (tannin) التي يتم استخلاصها من النباتات الميتة المتحللة. والألوان الحقيقية التي تنتج من ذوبان المواد الكيميائية، والتي عادة ما تكون مواد عضوية، لا تمكن رؤيتها.

الأوكسجين المذاب Dissolved Oxygen

يمكن للغازات أن تذوب في الماء. على سبيل المثال، تذوب غازات الأوكسجين، وثاني أوكسيد الكربون، وكبريتيد الهايدروجين، والنيتروجين في

الماء. والغازات الذائبة في الماء مهمة لصحة البيئة. على سبيل المثال، يؤثر ثاني أوكسيد الكربون المذاب في الماء بصورة كبيرة على الأس الهايدروجيني وعلى القلوية. يطلق ثاني أوكسيد الكربون في الماء من قبل الكائنات الحية المجهرية ويتم إستهلاكه من قبل النباتات المائية. ويعد الأوكسجين المذاب واحداً من أهم المؤشرات على جودة الماء بالنسبة لمشغلى محطات المياه.

ذكرنا في ما سبق أن المحاليل قد تصبح مشبعة بالمذيب. وهذا الأمر ينطبق على الماء والأوكسجين. يعتمد مقدار الأوكسجين المذاب عند التشبع على درجة حرارة الماء. غير أن إعتماد ذوبان الأوكسجين على درجة الحرارة يختلف عن إعتماد المذيبات الأخرى عليها. فكلما إرتفعت درجة الحرارة إنخفض مستوى التشبع؛ وكلما إنخفضت درجة الحرارة زاد مستوى التشبع.

المعادن (الفلزات) Metals

واحدة من المكونات أو الشوائب التي يحملها الماء هي المعادن. ولا تشكل غالبية المعادن أي أضرار إذا ما كانت مستوياتها طبيعية: غير أن بعض المعادن لها المقدرة على إحداث مشاكل في مذاق ورائحة الماء. وبعض المعادن قد تكون سامة للبشر، أوللحيوانات، أوللكائنات الحية المجهرية. وتجد معظم المعادن طريقها الى المياه من المركبات التي تطلق المعادن على هيئة أيونات موجبة. يسرد الجدول 5.3 أسماء المعادن شائعة الوجود في الماء وآثارها المحتملة على الصحة.

الجدول 5.3 العناصر الشائعة الوجود في الماء

العنصر	الخطر على الصحة
الباريوم	تأثيرات على الدورة الدموية وزيادة ضغط الدم
الكادميوم	التركيز في الكبد، الكلي، البنكرياس والغدة الدرقية

النحاس	تلف الجهاز العصبي وتأثيرات على الكلي، سامة للإنسان
الرصاص	تلف الجهاز العصبي وتأثيرات على الكلي، سامة للإنسان
الزئبق	إضطرابات الجهاز العصبي المركزيِ
النيكل	إضطرابات الجهاز العصبي المركزيِ
السيلينيوم	إضطرابات الجهاز العصبي المركزيِ
الفضة	تحول الجلد للون الرمادي
الخارصين	يتسبب في مشاكل المذاق- ليس بخطر على الصحة

المادة العضوية Organic Matter

المادة العضوية أو المركبات العضوية هي تلك المركبات التي تحتوي على عنصر الكربون والتي يرجع أصلها الى مواد كانت حية ذات مرة (أي النباتات والحيوانات). على سبيل المثال:

- الدهون (Fats)
- الأصباغ (Dyes)
- الصابون (soaps)
- منتجات المطاط (Rubber products)
- الخشب (wood)
- الوقود (Fuels)
- القطن (Cotton)
- البروتينات (Proteins)
- الكربوهيدريدات (Carbohydrates)

والمركبات العضوية التي توجد في الماء هي في العادة مركبات ضخمة، وغير قطبية ولا تذوب بصورة جيدة. وتوفر هذه المركبات مقادير كبيرة من الطاقة للحيوانات والكائنات الحية المجهرية.

المادة غير العضوية Inorganic matter

المادة غير العضوية هي مركبات غير عضوية لا تحتوي على كربون، يرجع أصلها الى مواد غير عضوية، وتذوب بسهولة في الماء؛ ومصدر هذه المواد غير معدني. تشمل المواد غير العضوية الأحماض، والقواعد، والأكاسيد، والأملاح. والعديد من المكونات غير العضوية مهمة لإرساء جودة الماء وللتحكم بها.

الأحماض Acids

الحمض هو مادة تنتج أيونات الهيدروجين (H^+) عندما تذاب في الماء. وأيونات الهيدروجين هي ذرات هيدروجين نزعت منها الإلكترونات. وأيون الهيدروجين ما هو الا نواة الهيدروجين. وعصير الليمون، والخل، والحليب الحامض هي مواد حمضية أو تحتوى على أحماض. والأحماض شائعة الاستخدام في معالجة المياه هي حمض الهيدروكلوريك (HCl)، وحمض الكبريتيكH_2SO_4، وحمض النتريكHNO_3 ، وحمض الكربونيك (H_2CO_3). لاحظ أن كل هذه الأحماض تحتوي على عنصر الهيدروجين (H). القوى النسبية للأحماض في الماء، والتي تورد بترتيب تنازلي مصنفة في الجدول 6.3، ص...

الجدول 6.3 القوي النسبية للأحماض في الماء

الحمض	الصيغة الكيميائية
فوق حمض الكلوريك	$HClO_4$
حمض الكبريتيك	H_2SO_2
حمض الهيدروكلوريك	HCl
حمض النتريك	HNO_3
حمض الفوسفوريك	H_3PO_4
حمض النتروز	HNO_2
حمض الهيدورفلوريك	HF
حمض الأستيك	CH_3COOH
حمض الكربونيك	H_2CO_3
حمض الهيدروسينك	HCN
حمض البوريك	H_3BO_3

القواعد Bases

القاعدة هي مادة تنتج أيونات الهيدروكسيد (OH^-) حينما تذاب في الماء. على سبيل المثال، تحتوي الصودا الكاوية والصابون العادي (وهي أشياء مرة المذاق) على قواعد. وتشمل القواعد التي تستخدم في عمليات محطات المياه هايدروكسيد الكالسيوم ($Ca(OH)_2$)، وهايدروكسيد الصوديوم$NaOH$، وهايدروكسيد البوتاسيومKOH. لاحظ وجود مجموعة الهايدروكسيل (OH^-) في كل هذه القواعد. تحتوي بعض القواعد على مواد معدنية، مثل الصوديوم (Na)، والكالسيوم (Ca)، والمغنيزيومMg، والبوتاسيومK. وتحتوي هذه القواعد على العناصر التي تتسبب في قلوية الماء.

الأملاح Salts

حينما تتفاعل الأحماض والقواعد بصورة كيميائية، فإنها تعادل بعضها البعض. والمواد التي تتكون من هذه التفاعلات (إضافة الى الماء) هي الأملاح. وتمثل الأملاح المجموعة الأكبر من المركبات غير العضوية بفارق كبير. وأحد الأملاح شائعة الاستخدام في عمليات محطات المياه هو كبريتات النحاس والتي تستخدم في القضاء على الطحالب الموجودة في المياه.

الأس الهيدروجيني pH

الأس الهيدروجيني هو مقياس لتركيز أيونات الهيدروجين. وتتراوح المحاليل ما بين شديدة الحمضية (تلك التي تحتوي على تراكيز عالية من أيونات الهيدروجين) الى شديدة القاعدية (التي توجد بها تراكيز عالية من أيونات الهايدروكسيد). وتتراوح قيم مقياس الأس الهيدروجيني بين 0 و14، وتعتبر القيمة 7 قيمة متعادلة.

قيمة الأس الهيدروجيني مهمة للتفاعلات الكيميائية التي تحدث في الماء، كما

يمكن لقيم الأس الهيدروجيني المرتفعة جداً أو المنخفضة جداً أن تثبط من نموالكائنات الحية المجهرية.

تعتبر قيم الأس الهيدروجيني المرتفعة قاعدية، بينما تعتبر قيم الأس الهيدروجيني المنخفضة حمضية. ويمكن أن نقول بطريقة أخرى، إن قيم الأس الهيدروجيني المنخفضة تعني وجود تراكيز مرتفعة من أيونات الهيدروجين، بينما تدل قيم الأس الهيدروجيني المرتفعة على وجود تراكيز منخفضة من أيونات الهيدروجين. وبسبب العلاقة اللوغاريثمية المعكوسة، يعطي كل فرق بين قيمتين متتابعتين للأس الهيدروجيني فرق 10 أضعاف في قيمة تراكيز أيونات الهايدروجين.

تختلف قيم الأس الهيدروجيني للمياه الموجودة في الطبيعية بحسب مصدرها. للماء النقي قيمة أس هيدروجيني متعادلة، وتوجد به كميات متساوية من أيونات الهيدروجين وأيونات الهايدروكسيل. وتتسبب إضافة الأحماض الى المياه في إضافة أيونات الهايدروجين الشيئ الذي يرفع من تركيزها في الماء ويخفض من قيمة الأس الهايدروجيني.

$$H^{+} + Cl^{-} \leftarrow HCl$$

يغير نشاط أيونات الهيدروجين في المحلول من الإتزان الكيميائي في الماء. ولهذا السبب تستخدم عمليات ضبط الأس الهيدروجيني من أجل دفع تفاعلات التخثير، وإزالة عسر الماء، والتعقيم، والتحكم في الصدأ الى حدها الأقصى. ويتوجب على مشغلى محطات المياه قياس تركيز أيونات الهيدروجين من أجل قياس الأس الهيدروجيني بغرض التحكم في تخثر الماء والتحكم في الصدأ. وفي إختبارات التخثر، كلما أضيفت كميات أكبر من الألوم (مادة حمضية)، إنخفضت قيمة الأس الهيدروجيني. وإذا ما أضيفت مادة قاعدية (هايدروكسيد الصوديوم)، إرتفعت قيمة الأس الهيدروجيني. وهذه العلاقة مهمة– وإذا ما تكون الندف بصورة جيدة، فينبغي تحديد الأس الهيدروجيني ومن ثم الحفاظ

عليه عند هذه القيمة الى حين حدوث تغير في المياه الواردة.

القلوية Alkalinity

تُعرَّف القلوية بأنها قابلية الماء للبروتونات (جسيمات ذات شحنات موجبة)؛ كما يمكن تَعريف القلوية بأنها مقدرة الماء على معادلة الأحماض. وبصورة أكثر تبسيطاً، يمكننا القول إن القلوية هي قابلية الماء لإمتصاص أيونات الهيدروجين من دون حدوث تغير ملحوظ في الأس الهيدروجيني (لمعادلة الأحماض).

مركبات البيكربونات، والكربونات، الهيروجين هي المسؤولة عن القاعدية في إمدادات المياه المعالجة وغير المعالجة. وتمثل البيكربونات المكون الرئيسي في مسببات القلوية بسبب فعل ثاني أوكسيد الكربون على المواد "القاعدية" في التربة؛ بينما تمثل البورات، والسيليكات، والفوسفات المكونات الثانوية. قد تشمل قلوية الماء غير المعالج أملاحاً من الأحماض العضوية، مثل حمض الدبال. وتعمل قلوية المياه كعامل منظم يعمل على تثبيت قيم الأس الهايدروجيني ومنع تذبذبها. تعتبر القلوية المرتفعة من العوامل المفيدة بصورة عامة، لأنها تمنع حدوث التغيرات السريعة في الأس الهيدروجيني. تتعارض التغيرات السريعة في الأس الهيدروجيني مع فعالية عمليات معالجة المياه الشائعة. تساهم القلوية المنخفضة كذلك في ميل الماء لإحداث الصدأ. تعتبر قيم القلوية التي تقل عن 80 مج/لتر منخفضة.

العسرة Hardness

يمكن إعتبار العسر من العوامل الفيزيائية أو الكيميائية للماء. ويمثل العسر مجموع تراكيز أيونات الكالسيوم والمغنيزيوم، والتي تسجل في شكل كربونات كالسيوم. يتسبب عسر الماء في تقليل فعالية الصابون ومساحيق الغسيل، كما يساهم عسر الماء كذلك في تكوين القشرة في الأنابيب والمراجل. ولا يشكل

عسر الماء مشكلة صحية. غير أنه يتحتم استخدام الترسيب بواسطة هيدروكسيد الصوديوم، أو التبادل الأيوني من أجل إزالة عسر الماء. يساهم عسر الماء المنخفض في ميل الماء لإحداث الصدأ. يمكن لعسر الماء والقلوية أن يحدثان سوية بسبب أن بعض المركبات يمكنها أن تساهم في القلوية وأيونات عسر الماء. عادة ما يصنف عسر الماء للأصناف المذكورة في الشكل 7.3.

الجدول7.3 عسر الماء

التصنيف	mg/L $CaCO_3$
ماء يسر	70-0
ماء ذوعسر متوسط	150-75
ماء عسر	300-150
ماء شديد العسر	أعلي من 300

خواص مهمة للماء Important properties of water

الذوبانية Solubility

تميل المركبات التي تمتلك المقدرة على تكوين روابط هيدروجينية مع الماء أن تكون ذات ذوبانية تفوق بكثير ذوبانية المواد التي لا يمكنها تكوين روابط هيدروجينية.

التوتر السطحي Surface tension

للماء توتر سطحي عالٍ. يتحكم التوتر السطحي في الظواهر السطحية وهو عامل مهم في الفسيولوجيا.

الكثافة Density

يصل الماء الى أعلى قيمة كثافة له عند أربع درجات مئوية. تذكر أن الكثافة هي الكتلة على وحدة الحجم. وحينما يتجمد الماء، يطفو الثلج.

درجة الغليان Boiling point

في العادة، تزيد درجة الغليان مع زيادة الوزن الجزيئي، إلاّ أن الترابط

الهيدروجيني يرفع درجة غليان الماء فوق تلك القيمة التي يتنبأ بها إعتماداً على الوزن الجزيئي وحسب.

السعة الحرارية Heat capacity

للماء سعة حرارية تفوق قيم السعة الحرارية لكل المواد الأخرى بإستثناء النشادر. والسعة الحرارية هي مقدار الطاقة التي يتطلبها رفع درجة حرارة مادة ما بمقدار درجة واحدة. وتسمح السعة الحرارية للماء للكائنات الحية المجهرية والمناطق الجيوغرافية بتثبيت درجة الحرارة بصورة أكبر.

حرارة التبخر Heat of vaporization

للماء حرارة تبخر تفوق المواد الأخرى كلها. وحرارة التبخر هي الطاقة المطلوبة لتحول سائل الى بخار. وتؤثر هذه الحرارة على تنقل جزيئات الماء بين سطح الماء والجو.

الحرارة الكامنة للإنصهار Latent heat of fusion

للماء حرارة كامنة للإنصهار تفوق قيم الحرارة الكامنة للإنصهار لكل المواد الأخرى بإستثناء النشادر. وحرارة الإنصهار هي الطاقة المطلقة عند تكثف السائل الى مادة صلبة. ولذا تثبت درجة الحرارة عند درجة التجمد.

الإنتقالات بين الأطوار Phase transmitions

إنتقال الطور هو التحول التلقائي من طور الى آخر عند درجة حرارة معينة عند قيمة ضغط معينة. على سبيل المثال، عند ضغط يساوي 1 جويكون الثلج هو الطور الثابت للماء عند درجة حرارة تقل عن 0 درجة مئوية، الا أنه عند درجة الحرارة التي تفوق الصفر يكون الماء السائل هو الطور الأكثر ثباتاً. ومخطط الطور للماء، على سبيل المثال، هو عبارة عن خريطة لمدى الضغط ودرجات الحرارة التي يكون الماء عندها أكثر ثباتاً.

كيمياء تلوث الماء Chemistry of water pollution

ما هو تلوث الماء؟ What is water pollution?

تختلف آراء الناس بخصوص ما يعتبرونه ملوثاً على أسس تقييم الفوائد والمضار على صحتهم وعلى إقتصادهم. على سبيل المثال، قد تكون المواد المرئية وغير المرئية التي ترمي بها المنشآت الصناعية في الماء مضرة للناس والأشكال الأخرى الحية الموجودة في الجسم المائي نفسه أو بالقرب منه. غير أن إلزام هذه المنشأة بتنصيب معدات تحكم مكلفة قد يتسبب في إجبار هذه المنشأة الصناعية على أن تغلق أبوابها أو أن تنتقل الى موضع آخر، إلاّ أن العمال الذين سيفقدون وظائفهم والتجار الذين سوف يفقدون مصدر رزقهم قد يحسون أن مخاطر الماء والهواء الملوثين هي مخاطر هامشية إذا ما قيست بفوائد الوظيفة المربحة. بعض مشاكل تلوث الهواء قد لا تتسبب الا في إزعاج لا يكاد يذكر للشخص العادي الا أنها قد تتسبب في حدوث مشاكل صحية مضاعفة قد تؤدي للوفاة بالنسبة للأشخاص الذين يعانون من نقص المناعة الذاتية. يؤدي إختلاف الأولويات الى تفكير الناس في التلوث بطرق مختلفة (ليس من المرجح أن يساعد القلق بشأن مستويات المبيدات في الأغذية الذي يؤدي الى حظر شامل للمبيدات الجياع). ويتأخر إدراك العامة لمشاكل التلوث عن الواقع بسبب أن الحقيقة يصعب تحملها أحياناً. والقول بوجود التلوث يعتمد على إطلاق الأحكام، ويتطلب التلوث إطلاق أحكام بصورة مستمرة (سبيلمان ودرينان 2001).

الحمضية والقلوية وملوحة الماء Acidity, alkalinity and salinity

تُعرَّف حمضية أنظمة المياه الطبيعية بمقدرتها على معادلة أيونات الهايدروكسيد. يصعب قياس الحمضية مقارنة بالقلوية بسبب أن الغازات المتطايرة (CO_2 وH_2S على سبيل المثال) تؤثر على الحمضية.

نقطة رئيسية: تشمل المصادر "الطبيعية" للحموضة الأحماض الضعيفة، مثل

H_2S،$H_2PO_4^-$ والبروتين، والأحماض الدهنية، وأيونات المعادن الحمضية.

تَذَكِّر أن القلوية تُعرَّف على أنها مقدرة الماء على تقبل البروتونات. وعلى العكس من الأس الهيدروجيني، والذي هو عامل شدة، بينما تعتبر القلوية عامل سعة. وعادة ما يعبر الكيميائيون عن القلوية على هيئة المكافئات الموجودة في اللتر.

$$Ca^{2+} + CO_2 + H_2O \leftarrow CaCO_3 + 2H^+$$

درجة ملوحة الماء هي حمله من الملح (أي تركيز الأملاح المذابة). يمكن للتراكيز المتزايدة من الأملاح أن تنتج من عدد كبير من الأنشطة البشرية، التي تشمل:

- معالجة مياه الشرب
- الرشح من أكوام النفايات
- الري والزراعة

ملحوظة: يبلغ الأس الهيدروجيني للتر واحد من هيدروكسيد الصوديوم الذي يبلغ تركيزه المولاري M0.001 11 الا أنه يستطيع أن يعادل 0.001 مول من الحمض. ويعادل مول من$Ca(OH)2$ مولين من+H، أو يعادل 0.5 مول من $Ca(OH)2$ 1 مول من +H، لذلك يساوي محلولاً ذا تركيز يبلغ M0.5 قلوية تساوي 1 مكافئ/لتر.

ملحوظة: للتر من HCO_3^- ذو مولارية تساوي 0.1 أس هيدروجيني يساوي 8.34، الا أن بمقدوره أن يعادل 0.1 مول من الحمض.

عسر الماء Water hardness

يعزى عسر الماء الى تركيز Ca^{2+} (إضافة الىMg^{2+} وبعضFe^{2+}). ترتبط درجة عسر الماء بمقدار المعادن المذابة في الماء، خصوصاً الكالسيوم والمغنيزيوم. عادة ما يعبر عن عسر الماء بمقدار كربونات الكالسيوم $CaCO_3$. يقاس عسر الماء بالجزء من المليون، وبعسر الكربونات kH، وبدرجة العسرdH او بالعسر العام gH. يوصف الماء عادة باليسر (عندما يحتوي على مقدار ضئيل من المعادن المذابة أو بالعسر (عندما يحتوي

على الكثير منها). يسرد الجدول 8.3 المستويات العامة لعسر الماء (تساوي درجة عسر واحدة 17 جزء من المليون).

الجدول 8.3 عسر الماء

درجة العسر	جزء من المليون	غرامات العسر
ماء شديد اليسر	0 إلي 70	0 إلي 4
ماء يسر	70 إلي 135	4 إلي 8

تزيد التراكيز المرتفعة من ثاني أوكسيد الكربون من ذوبانية أيونات الكالسيوم. بينما يتسبب تسخين الماء، الذي يطرد ثاني أوكسيد الكربون، في تقليل ذوبانية أيونات الكالسيوم. ويتسبب هذا الأمر في حدوث مشاكل في أنظمة المياه الساخنة، التي يمكن أن تسد بسبب الرواسب الغير ذائبة.

$CaCO_3 (S) + H_2O \leftarrow Ca^{2+} + 2\ HCO3^-$

في وجود الماء، يكون الماء العسر رواسب "شبيهة بالخثارة"

$Ca\ (C_{17}H_{35}CO_2)_2\ (S) + 2\ Na^+ \leftarrow 2\ C_{17}H_{35}COO\ Na^+ + Ca^{2+}$

وعلى الرغم من أن أيونات الكالسيوم لا تكون رواسب غير ذائبة مع مساحيق الغسيل، الا أنها تؤثر بشدة على أدائها.

تشمل تقنيات إزالة عسر الماء (التخلص من Ca^{2+} وMg^{2+}):

- إضافة هيدروكسيد الكالسيوم، حينما يكون عسر البيكربونات هو المشكلة الأكبر.

$2\ CaCO_3 + 2H_2O \leftarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^- + Ca(OH)_2$

- إضافة هيدروكسيد الكالسيوم ورماد الصودا (كربونات الصوديوم) حينما لا تكون البيكربونات عاملاً.

$CaCO_3 + 2\ Cl^- + 2\ Na^+ \leftarrow Ca^{2+} + Cl- +2\ Na^+CO_3^-$

- يمكن تحويل كربونات الكالسيوم الى هيدروكسيدات الكالسيوم باستخدام الحرارة:

$CaCO_3$ + heat← CaO + CO_2 (g)

CaO + H_2O ← Ca $(OH)_2$

- تشمل مشاكل المياه التي تتم معالجتها عن طريق التخلص من عسر الماء التراكيز المتبقية من أيونات الكالسيوم وهيدروكسيدات المغنيزيوم وقيم الأس الهيدروجيني المرتفعة.

نقطة رئيسية: عادة ما تخفض إعادة إضافة الكربونات من الأس الهيدروجيني الى مستويات مقبولة.

تشمل تقنيات إزالة عسرة الماء:

- تبادل الأيونات
- إضافة الأورثوفوسفات (الترسيب)

$Ca_5OH(PO_4)$ (s)←$5Ca^{2+}$ + $3PO_4^{3-}$ + OH^-

- إزالة المعادن بواسطة المركبات المخلبية

CaY^{-2}←Ca^{2+} + Y^{-4}

التلوث بالمعادن والعوامل المخلبية Metal contamination and chelating agents

تشمل الملوثات المعدنية الشائعة:

- الفلزات الشائعة (Fe،Mn)
- المعادن الثقيلة (Cd، Pb،Hg)
- أشباه الفلزات (Sb، Se،As)
- المركبات الفلزعضوية
- النويدات المشعة

توجد أيونات الفلزات في شكل أيونات مماهة $M\ (H_2O)_x^{n+}$ أو معقدات.

يتم إطلاق الفلزات الثقيلة مثل الرصاص والكادميوم الى الغلاف الجوي من

انبعاثات السيارات ومحطات الطاقة. وتذوب هذه الأيونات في بخار الماء وأحماض الكبريتيك والنتريك الموجودة في الغلاف الجوي ثم ترجع الى الأرض على هيئة أمطار حمضية تلوث إمدادات الماء. وتفاقم الآثار الحاتة للأحماض على أنابيب المياه المعدنية من هذه المشكلة، الشيئ الذي يتسبب في تلويث إمدادات المياه. تزال الملوثات المعدنية الشائعة مثل الحديد والمنغنيز عن طريق أكسدتها الى هيئات غير ذائبة (Fe^{3+} و MnO_2). من الصعب إزالة العوالق الغروية أو Fe^{3+} و Mn^{4+} والمواد العضوية التي توجد في الطبيعة. ويمكن لتلوث الماء بالمعادن الثقيلة (التي توجد في الجزء الأيمن السفلي من الجدول الدوري) أن تكون ضارة جداً بسبب العناصر الآتية:

- مهاجمة روابط الكبريت، والأحماض الكربوكسيلية، والمجموعات الأمينية.
- إرتباطها بأغشية الخلايا
- تتسبب في ترسيب الفوسفات المهمة للحياة أو تتسبب في تدميرها.

التلوث بالكادميوم، والذي ينشأ من الأنشطة الصناعية وأنشطة التعدين، يعتقد أنه ينتج من حلول الكادميوم محل الخارصين الحيوي، الذي يتسبب في حدوث آثار ضارة بالصحة على الكلى، كما يتسبب في تدمير خلايا الدم الحمراء.

ويمكن للرصاص الذي ينتج من تلوث الغذاء، والمشروبات، ومياه الشرب، إضافة الى المصادر الصناعية والطبيعية أن يؤدي الى حدوث إختلالات في الكلى والدماغ، والجهاز العصبي المركزي، بالإضافة الى تسببه في حدوث مشاكل صحية خطيرة أخرى.

يدخل الزئبق الى البيئة من مصادر ثانوية عديدة، يؤدي تراكمها الى حدوث أثار سمية كبيرة.

- تحتوي مياه الصرف الصحي على عشرة أضعاف تراكيزه في المياه الطبيعية.
- تم إقتفاء أثر المستويات المرتفعة من الزئبق التي وجدت في الأسماك في السبعينيات الباكرة من القرن العشرين الى إنتاج CH_3Hg^+ الذائب و$(CH_3)_2Hg$ المتطاير الذي تضخم تركيزاته في أنسجة الأسماك الى ما يفوق الألف ضعف.

تستخدم عدة طرق لإزالة المعادن الثقيلة. على سبيل المثال، تزيل المعالجة باستخدام الصودا الكاوية المعادن الثقيلة. تشمل التقنيات الأخرى لإزالة المعادن:

- الترسيب الكهربائي
- النضح الأسموزي المتعاكس
- تبادل الأيونات
- استخدام الأسمنت

$$Fe^{2+} + Cu \leftarrow Cu^{2+}\ Fe$$

- الإدمصاص على أسطح الكربون المنشط (زائداً استخدام العوامل المخلبية)
- تكوين الندف بواسطة كلوريد الحديديك ($FeCl_3$).
- التخثير بواسطة الألوم $Al_2(SO4)_3.18H_2O$
- $Al(OH)_3 + 6\ H_2O \leftarrow Al(H_2O)_6^{3+}\ (s) + 3\ OH^-$

نقطة مهمة: يجب أخذ الحذر عند التخلص من الاوحال بسبب تراكم المعادن الثقيلة والملوثات الأخرى التي تزال بواسطة الترسيب أو الطرق الأخرى.

الزرنيخ، والذي هو ملوث أولي شبه فلزي مثير للقلق، يتم إطلاقه الى الغلاف

الجوي من إحتراق الوقود الأحفوري. والزرنيخ هو ناتج جانبي لعمليات تنقية الرصاص، والنحاس، والذهب. كما يعتقد أيضاً أن البكتيريا لها دور ما في عمليات تحويل الزنيخ الى هيئات متنقلة سامة مثل$(CH_3)_2AsH$

المركبات الفلزعضوية (organometallics)، والتي تشمل مجموعة كبيرة من المبيدات الحيوية العضوية المحتوية على قصدير والتي تستخدم في الوقت الحالي، هي ملوثات مائية خطرة بسبب سميتها واستخدامها على نطاق واسع. تنتج 40000 طن متري تقريباً/العام من مركبات القصدير العضوية على هيئة مضادات للبكتيريا، ومضادات للفطريات(مضادات التعفن)، ومبيدات الحشرات، والمواد الحافظة.

يمكن للنويدات المشعة (radionuclides) أن تدخل الى الأنظمة المائية من المصادر البشرية ومن المصادر الطبيعية. تشمل النويدات المشعة الموجودة في الطبيعة C-14،Si-32،Ra-226،Pb-210،Th-230 تم الكشف عن وجود تلوث كبير بالنويدات المشعة في مناطق التعدين الغربية، وفي أيوا، والليينوي، وويسكونسون، وميسيسبي، ومينسوتا، وفلوريدا، وشمال كارولينا، وفيرجينيا، ونيوإنجلند. تنتج النويدات المشعة الخطرة من الأنشطة البشريةPu-239 ، Fe-55،Mn-54 ،Co-60 ،Ru-103 :Kr-85 ،Sr-89 ،Ce-141 ،Zr-95 ،Ba-140،Cs-137

العوامل المخلبية Chelating agents

إذا كان للكيانات التي ترتبط بالفلز منطقة إرتباط واحدة فإنها تُعرَّف بالمرتبطات. بينما تُعرَّف الكيانات التي بها أكثر من منطقة إرتباط واحدة بالفلز بالعوامل المخلبية.

ترتبط الفلزات بالعوامل المخلبية المصنوعة والطبيعية. تُعرَّف العوامل المخلبية الطبيعية بالمواد الدبالية، وهي المواد المتبقية من التفكك الحيوي للنباتات.

وتتراوح الأوزان الجزيئية لهذه المواد بين بضع مئات الى ما يزيد عن عشرة آلاف.

_المواد الدبالية الذائبة سوف:

- تضيف صبغة صفراء الى لون المياه
- تذيب الفلزات ذات الأهمية الحيوية
- تؤدي الى إنتاج الميثانات ثلاثية الهالوجين (المسرطنة) خلال عمليات كلورة مياه الشرب.

المواد الدبالية غير الذائبة سوف:

- تقوم بمبادلة الكاتيونات مع المياه
- تراكم الفلزات

تستخدم العوامل المخلبية المصنوعة، مثل الإدتا، كعوامل تنظيف (مزيلات تلوث) تقوم بإذابة المعادن. تزيد ذوبانية الفلزات أيضاً من حركة الكيانات التي تم الإرتباط بها في البيئة. ومن المعروف أيضاً أن للمضادات الحيوية مثل ستربتومايسين، وحمض الأسبرجليك، والتتراسايكلين وغيرها خواصّ مخلبية.

ملوثات الماء غير العضوية الأخرى Other inorganic water pollutants

- NH_3 (من الفضلات العضوية التي تحتوي على النتروجين)
- H_2S(من الهضم اللاهوائي، والإنبعاثات الحرارية الأرضية، والفضلات الصناعية)
- .CO2(التحلل العضوي، إعادة إضافة الكاربونات)
- NO_2^-(مضادات التآكل)
- SO_3^{2-} (مياه تغذية المراجل)
- الأسبستوس (نفايات التعدين الصناعية)

إزالة المواد غير العضوية المذابة هو جزء مهم من عملية معالجة مياه الصرف الصحي، حتى لو كان ذلك الماء المعالج غير موجه للاستخدام للشرب. عملية التقطير مكلفة جداً كما أنها لا تزيل المواد غير العضوية المتطايرة (النشادر على سبيل المثال). كما أن عملية التجميد ليست ذات فعالية إقتصادية هي الأخرى. تشمل التقنيات الشائعة لإزالة المواد غير العضوية المذابة:

- الديلزة الكهربية والتناضح العكسي
- تبادل الأيونات
- تعرية الهواء عند قيم الأس الهيدروجيني المرتفعة (NH_3)
- الترسيب (للفوسفات)

$$5Ca(OH)_2 + 3HPO_4^{-2} \Rightarrow Ca_5OH(PO_4)_3(s) + 3H_2O + 6OH$$

الملوثات العضوية للمياه Organic water pollutants

تحتوي فضلات الصرف الصحي على مجموعة متنوعة من الملوثات العضوية، تشمل الفيروسات، ومساحيق التنظيف، والفوسفات، والشحوم، والزيوت، والأملاح، والمعادن الثقيلة، والعوامل المخلبية، والمواد الصلبة، والمواد العضوية المقاومة للتفكك.

نقطة رئيسية: إذا لم تتم معالجتها بصورة مناسبة، فإن المياه المعالجة الناتجة والوحل قد تحتوي على كل أو بعض هذه الملوثات.

كذلك يتم إطلاق كميات كبيرة من الصابون، ومساحيق الغسيل، ومزيلات التوتر السطحي الى مياه النفايات الصناعية والمحلية.

لا يمكن تفكيك العديد من المركبات العضوية بسهولة بواسطة الكائنات الحية المجهرية. وتظل هذه المركبات ذات الأوزان الجزيئية المنخفضة، غير المتطايرة بصورة نسبية، في البيئة وتكون لها تبعات غير معروفة. وتحفل قائمة المركبات

المقاومة للتفكك بالمركبات الأروماتية والمركبات الهيدروكربونية المكلورة أو بكليهما.

يجب أن ترافق عمليات معالجة المركبات المقاومة للتفكك بعمليات أخرى تشمل تعرية الهواء، واستخلاص المذيب، واضافة الأوزون، وإمتصاص الكربون من أجل إزالة هذه المركبات. ويمكن لهذه المركبات أن تتسبب في مشاكل مذاق ورائحة لمياه الشرب.

تصنع مبيدات الحشرات ومبيدات الأعشاب وتستخدم بكميات كبيرة، كما تجد هذه المركبات طريقها بصورة غير مقصودة الى الأوساط البيئية. إضافة الى ما سبق، وجدت المواد الإبتدائية المقاومة للتفكك التي تصنع منها المبيدات، مثل سداسي كلور البنزين، في مياه الشرب. والدايوكسين مثال آخر للمنتجات الجانبية لتصنيع مبيدات الحشرات ومبيدات الأعشاب.

تجد مركبات البنزين عديدة الكلور طريقها الى الأجسام المائية. تحتوي مركبات البنزين عديدة الكلور ما بين واحد الى عشرة من ذرات الكلور مستبدلة على جزيئي ثنائي البنزين، ويعني ذلك وجود 209 من هذه المركبات. تم الكشف عن وجود مركبات البنزين عديدة الكلور في الرسوبيات وفي أنسجة الحيوانات والطيور في كل أنحاء العالم. وتقدر وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة الأمريكية أن حوالى 91% من الأمريكيين لديهم مستويات من مركبات البنزين عديدة الكلور يمكن الكشف عنها في أنسجتهم.

وقد يكون من الضروري إزالة المركبات العضوية قبل إجراء عملية الكلورة من أجل تفادي تكون الميثانات ثلاثية الهالوجين. تشمل المركبات العضوية التي لا تتأثر (او تحمى من) عمليات المعالجة الثانوية المواد الدبالية (50% منها بالتقريب)، والكاربوهيدريدات، ومساحيق الغسيل والتانينات.

والطريقة الأولية لإزالة المركبات العضوية المذابة هو إدمصاصها على الكربون المنشط. تؤدي "عملية التنشيط" الى زيادة المسامية، ومساحة السطح، وألفة

سطح الكربون تجاه المركبات العضوية. يتحتم غسل الكربون المنشط بصورة دورية من أجل إزالة الحبيبات كما يمكن إعادة توليد الكربون المنشط بتسخينه في البخار والهواء عند 950 درجة مئوية.

تشمل التقنيات الأخرى المستخدمة في إزالة المركبات العضوية الإدمصاص بواسطة البوليمرات المصنعة (راتنجات الأمبيرلايت) والأكسدة.

يمثل التخلص من الأوحال الناتجة من معالجة مياه الصرف الصحي مشكلة رئيسية في أنحاء العالم المختلفة. في العام 1992 تم حظر رمي النفايات في المحيطات في الولايات المتحدة بصورة كاملة. وقبل التخلص من الأوحال بصورة مقبولة، عادة ما يقلل من حجم هذه الأوحال عن طريق الهضم اللاهوائي، الذي تتبعه عملية التكييف، والتسميك والنزح.

يمكن استخدام هذه الأوحال الغنية بالمغذيات (5%N، 3%P ، 0.5%K) في عمليات تخصيب التربة وتكييفها. وتشمل المشاكل ذات الصلة بهذه الأوحال الجريان السطحي، والتراكيز العالية من المعادن الثقيلة، وعوامل "الترسيب" الكيميائية، وتلوث المحاصيل، الكائنات الحية الممرضة. إحتوت بعض عينات الأوحال على 9000 جزء من المليون من الخارصين، و6000 جزء من المليون من النحاس، و600 جزء من المليون من النيكل، و800 جزء من المليون من الكادميوم.

الأحمال اليومية القصوى

(TMDLs) Total maximum daily loads (TMDLs)

الأحمال اليومية القصوى هي مقادير الملوثات التي يمكن تفريغها في جسم مائي من دون أن تتسبب في الإخلال بجودة مياهه. والأحمال اليومية القصوى مطلوبة من أجل المياه المتأثرة أو الملوثة، كما تستخدم لوضع الأولويات عند تطوير خطط مستجمعات المياه وعند حساب توزيع الأحمال المنفردة. يقسم

توزيع الأحمال المسؤولية عن جودة المياه للجهات التي تقوم بالتفريغات في الأجسام المائية (سبيلمان ودرينان 2001).

في 11 يوليو، 2001 وقعت وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة على قاعدة تنص على مراجعة برنامج الأحمال اليومية القصوى وتقوم بالتغييرات اللازمة للنظام الوطني للتخلص من تفريغات الملوثات وبرنامج معايير جودة المياه. وبحسب الرئيس الأمريكي الأسبق بيل كلينتون، فإن تصرف وكالة حماية البيئة كان "خطوة لا بد منها، وتمليها الفطرة السليمة" من أجل تنظيف المجاري المائية للأمة.

لماذا نحتاج لقاعدة جديدة للأحمال اليومية القصوى؟

تشير وكالة حماية البيئة الى أن ما يزيد على 20000 من الأجسام المائية على إمتداد الولايات المتحدة قد تم وسمها بأنها ملوثة من قبل الولايات، والمقاطعات، والقبائل المفوضة. تشمل هذه الأجسام المائية ما يزيد عن 300000 من أميال الجداول/الأنهار والشواطئ و5 ملايين فدان من البحيرات. ويعيش غالبية السكان في الولايات المتحدة على بعد 10 أميال من مياه ملوثة.

يوفر قانون الماء النظيف سلطات خاصة لإستصلاح المياه الملوثة. يدعو هذا القانون الولايات للعمل مع الأطراف المعنية من أجل تطوير الأحمال اليومية القصوى للمياه الملوثة. والحمل اليومي الأقصى هو بصورة أساسية "ميزانية تلوث" مصممة من أجل إسترجاع صحة جسم مائي ملوث.

أهداف قاعدة الحمل اليومي الأقصى Goals of TMDL rules

سوف تقوم قاعدة الحمل اليومي الأقصى لجعل مياه آلاف الجداول/الأنهار، والمياه الساحلية آمنة لأغراض السباحة وصيد الأسماك واسترجاع أعداد صحية من الأسماك والأسماك الصدفية.

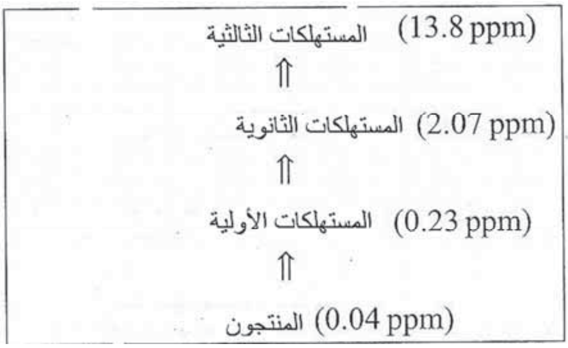
الأحكام الرئيسية لقاعدة الحمل اليومي الأقصى.

- تلزم الولايات بتطوير طرق إعداد قوائم مفصلة وشاملة للأجسام المائية الملوثة، كما ينبغي أن ترفع هذه القوائم الى وكالة حماية البيئة كل أربع سنوات. قد تشمل هذه القوائم المياه المعرضة للخطر.
- تلزم الولايات بوضع قائمة أولويات للأجسام المائية، وأن تطور أحمالاً يومية قصوى للأجسام المائية التي تأتي منها مياه الشرب أو تلك التي تدعم الأنواع المعرضة للخطر. وما إن تطور قاعدة حمل يومي أقصى، فإن هذه القاعدة تلزم الولايات بوضع جدول تنظيف يمكن من تنظيف الأجسام المائية الملوثة خلال عشرة أعوام (او خلال خمسة عشر عاماً إذا ما طلبت الولاية تمديداً وافقت عليه وكالة حماية البيئة).
- ينبغي أن يشمل تطوير قاعدة حمل يومي أقصى خطة تنفيذ تحدد الأفعال المعينة وجداول لإستيفاء أهداف جودة المياه ومعالجة المصادر النقطية أو غير النقطية، بحسب القاعدة. تطلب القاعدة كذلك تنصيب أدوات تحكم في الجريان السطحي بعد خمس سنين من تطوير القاعدة، إذا كان عملياً القيام بذلك، كما تطلب القاعدة أن تكون توزيعات الحمل اليومي الأقصى:
    - خاصة بالتلوث
    - سريعة التنفيذ
    - قد تم الإيفاء بها عبر برامج فعالة
    - مدعومة بتمويل كافٍ لجودة المياه

- لا تتطلب القاعدة إصدار رخص جديدة لعمليات الغابات، والماشية، والزراعة المائية. كما أنها لا تتطلب "تعويضات" لتفريغات التلوث الجديدة للمياه الملوثة قبل تطوير قاعدة حمل يومي أقصى.

دي دي تي والتضخيم الحيوي DDT and biomagnification

يوضح الشكل 5.3 الكيفية التي يتم بها تركيز دي دي تي في أنسجة كائنات حية تمثل أربع مستويات متعاقبة في السلسلة الغذائية.



الشكل 5.3. قيم ممثلة لتركيز الديديتي ومشتقاته في الأنسجة (جزء من المليون).

يحدث تأثير التركيز بسبب أن دي دي تي يتم إستقلابه وإخراجه بصورة أبطأ بشدة من المغذيات التي تمرر من مستوى غذائي (تغذية) الى المستوى الذي يليه. يتراكم دي دي تي في الأجسام (خصوصاً في الشحوم). لذلك يظل معظم الدي دي تي الذي يتم إبتلاعه، كجزء من عملية الإنتاج الظاهري، موجوداً في صافي الإنتاج الذي يتبقى في المستوى الغذائي المحدد.

نقطة رئيسية: وهذا هو السبب الذي يجعل دي دي تي خطراً على الحيوانات غير المستهدفة خصوصاً تلك التي توجد على قمة السلاسل الغذائية.

الخواص المهمة للماء

- الماء ضروري للحياة
- الماء شفاف

- الماء مذيب ممتاز
- الماء مذيب قطبي
- للماء توتر سطحي مرتفع
- يصل الماء الى أعلى قيمة كثافة له عند أربع درجات مئوية
- ترفع الروابط الهيروجينية من درجة غليان الماء فوق تلك القيم المتوقعة على أساس الوزن الجزيئي.
- للماء سعة حرارية تفوق كل السوائل الأخرى بإستثناء النشادر
- للماء حرارة تبخر تفوق كل المواد الأخرى.
- للماء حرارة كامنة للإنصهار تفوق كل السوائل الأخرى بإستثناء النشادر
- المحلول هو خليط متجانس من مذيب في مذاب
- يمكن فصل المذيب من المحلول بواسطة التقطير
- تذوب المذابات القطبية في المذيبات القطبية
- تذوب المذابات غير القطبية في المذيبات غير القطبية
- تحتوي المحاليل المركزة على كميات كبيرة من المذابات.
- تحتوي المحاليل المخففة على كميات ضئيلة من المذابات.
- تُعرَّف حموضة أنظمة المياه الطبيعية على أنها المقدرة على معادلة أيونات الهيدروكسيد.
- تُعرَّف القلوية على أنها مقدرة الماء على تقبل البروتونات.
- عادة ما يعبر الكيميائيون عن القلوية بعدد المكافئات الموجودة في اللتر*.

- ملوحة الماء هي حمله من الملح
- يرجع عسر الماء الى تركيز أيونات الكالسيوم.
- تشمل الملوثات المعدنية المائية المعادن الشائعة، والمعادن الثقيلة، وأشباه الفلزات، والمركبات المعدنية العضوية، والنويدات المشعة.
- تساهم المركبات العضوية وغير العضوية في تلوث الماء.
- الحمل اليومي الأقصى هو مقدار الملوثات التي يمكن أن تفرغ في الجسم المائي من دون أن تؤثر على جودة مياهه.
- يتم إظهار التضخيم الحيوي عندما تتم عملية تركيز الدي دي تي مع مروره عبر السلسلة الغذائية.
- المعالجة الأولية هي أولى خطوات عملية معالجة المياه.
- تستخدم عمليات المعالجة الثانوية للمياه عمليات حيوية كيميائية لهضم النفايات العضوية.
- تستخدم المعالجة الثانوية مرشحات التقطير، والمتماسات الحيوية الدوارة، والوحل المنشط.
- تشمل المعالجة الثالثية واحدة أو أكثر من العمليات الفيزيائية، والكيميائية، و/او الحيوية لإزالة المغذيات.

الغلاف الجوي للأرض: "دورق بلا جدران"

Earth's atmosphere: a flask without walls

ملحوظة: لاحظ في الوصف التالي للغلاف الجوي للأرض أننا نتحدث عن الغلاف الجوي الذي ما زال موجوداً (في عصر البشر). الا أن الغلاف الجوي الذي سبق هذه الفترة كان مختلفاً بصورة تامة. إنتبه أيضاً الى أن "كيمياء الغلاف الجوي" هي علم قائم بذاته. كما أن تقديم شرح معمق

لكيمياء الغلاف الجوي هو أمر يتخطى حدود هذا الكتاب. ونركز هنا على بعض الظواهر المهمة لكيمياء الغلاف الجوي، خصوصاً تلك المشاكل التي تتسبب فيها الملوثات العضوية وغير العضوية.

يحدث مدى واسع من العمليات الكيميائية في الغلاف الجوي-والغلاف الجوي هو عبارة عن "دورق بلا جدران" (جرادل وكرتزن 1995). وبإستثناء المحتوى شديد التباين من بخار الماء، فإن 99% من الجزيئات التي تكون الغلاف الجوي للأرض هي النيتروجين، والأوكسجين، والغازات الخاملة من ناحية كيميائية (الغازات الخاملة مثل الأرغون، إلخ).

وكيمياء (وفعالية) هذه الغازات الطبيعية (النيتروجين، والأوكسجين، وثاني أوكسيد الكربون، والأرغون، وغيرها) معروفة الى درجة كبيرة. كما نعرف أيضاً المواد الكيميائية المتفاعلة الأخرى (التي ينتجها البشر) والتي هي جزء من الغلاف الجوي، الا أن الآراء ما زالت مختلفة حول التأثير "المحدد" الكلي لهذه الغازات على البيئة. على سبيل المثال، يعتبر الميثان أكثر المركبات الوفيرة فعالية في الغلاف الجوي، وتصل تراكيزه في المستوى الأرضى الى 1.7 جزء من المليون في وحدة الحجم. كما نعرف أن كماً هائلاً من المعلومات عن الميثان (منشأُه ومصيره بعد تفريغه) وتأثيره على الغلاف الجوي؛ غير أن الأبحاث ما زالت جارية من أجل معرفة المزيد، كما ينبغي أن يكون عليه الحال.

توجد عدة جزيئات متفاعلة (غير الميثان) في الغلاف الجوي. وقد لا نكون على معرفة بهذه المتفاعلات، الا أننا بلا شك على معرفة ببعض تأثيراتها: ثقب الأوزون، وتأثير الدفيئة، والإحترار العالمي، والضبخان، والمطر الحمضي، وتيارات المد المرتفعة وما الى ذلك. قد تفاجئك معرفة أنه، برغم ما سبق، نادراً ما تتعدى التراكيز الكلية لهذه المتفاعلات في الغلاف الجوي 10 أجزاء من المليون في وحدة الحجم في أي زمن معطى.

وينبغي أن تكون أهمية هذا الأمر جلية: المشاكل الجوية التي تحدث حالياً في الأرض هي نتيجة ما لا يزيد على جزء من الألف من 1% من كل الجزيئات الموجودة في الغلاف الجوي. ويدل هذا على أن الدمار البيئي (الذي يتسبب في حدوث المشاكل في الغلاف الجوي على إمتداد العالم) يمكن أن ينتج من عدد يقل عن المقادير المهولة من المواد المتفاعلة التي نحسبها خطرة.

وتظهر الملوثات المختلفة التي تطلق في الغلاف الجوي في عدد من المشاكل البيئية. خذ في إعتبارك، على سبيل المثال، الملوثات الآتية المنقولة بواسطة الهواء وتأثيراتها على الإحترار العالمي، والمطر الحمضي، وتعتيم الرؤية، ومشاكل الجهاز التنفسي المتزايدة وتليف النباتات (إصفرارها).

- المواد الحبيبية–تعتم الرؤية، وتزيد من مشاكل الجهاز التنفسي.
- أول أوكسيد الكربون– يساهم في غازات الدفيئة لأنه يتفكك ببطء مكوناً ثاني أوكسيد الكربون.
- الميثان– من غازات الدفيئة.
- الرماد المتطاير–يعتم الرؤية، ويزيد من مشكلات الجهاز التنفسي.
- كلورات فلورات الكربون–من غازات الدفيئة
- N_2O –من غازات الدفيئة، ويساهم في المطر الحمضي، ويزيد من مشاكل الجهاز التنفسي، ويتسبب في إصفرار النباتات.
- ثاني أوكسيد الكربون–من غازات الدفيئة.
- ثاني أوكسيد الكبريت– المطر الحمضي، كما يزيد من مشاكل الجهاز التنفسي، ويتسبب في إصفرار النباتات.

- غبار الفحم–يعتم الرؤية، ويزيد من مشاكل الجهاز التنفسي.

وبصورة أخص، تساهم العديد من الأنشطة الكيميائية في التلوث البيئي. وبالإضافة للتأثيرات المذكورة أعلاه، يشمل التلوث الذي تتسبب فيه الصناعة الكيميائية ثاني أوكسيد الكبريت، وإنبعاثات الغازات السامة، والغازات ذات الروائح الكريهة، والغبار، والدخان، والرزاز، والنشاط الإشعاعي.

وجودة الهواء الذي نتنفسه، والمناحي الجمالية للجو والمناظر، ومناخنا كلها مهمة لصحة ولجودة حياتنا– هذه كلها تعتمد على الظواهر الكيميائية التي تحدث في الغلاف الجوي. وتثير المشاكل الجوية العالمية، مثل طبيعة ومستوى ملوثات الهواء، قلق عالم البيئة أكثر من غيره لأنها تؤثر على الصحة وعلى جودة الحياة، وعلى البيئة.

وظائف الغلاف الجوي Functions of the atmosphere

يقوم الغلاف الجوي بالآتي:

- يعمل كمستودع للغازات المهمة للغلاف الحيوي–ثاني أوكسيد الكربون (التخليق الضوئي)، والأوكسجين (التنفس)، والنيتروجين (تثبيت النيتروجين)–والماء؛
- يعمل كدرع واقٍ للغلاف الحيوي (دور الأوزون)؛
- وسط نقل للطاقة وللماء؛
- وسط للتخلص من النفايات؛ و
- يعدل من درجة الحرارة (نقل الحرارة)

نقطة مهمة: للغلاف الجوي مقدرة كبيرة على إمتصاص، وتخفيف، وإزالة الملوثات. وتختلف مقدرته على التخفيف والتشتيت بمعامل يقترب من 10،000 إعتماداً على عوامل مثل ثباتية الجو، الا أن هذه المقدرة ليست غير المحدودة.

التفاعلات الكيميائية في الغلاف الجوي Chemical reactions in the atmosphere

تحدث تفاعلات الغلاف الجوي عادة عند ضغوط منخفضة (تراكيز منخفضة على سبيل المثال) في وجود كميات كبيرة من الطاقة (الشمس على سبيل المثال).

نقطة مثيرة للإهتمام: يشير ماناهان الى أنه " من الصعب دراسة التفاعلات الكيميائية التي تحدث في الغلاف الجوي." لماذا؟ بسبب أن الكيمائيين في هذه الحالة يتعاملون مع تراكيز غاية في الصغر، الشيئ الذي يصعب من عملية الكشف والتحليل بدرجة كبيرة. من الصعب أيضاً نمذجة هذه التفاعلات في المختبر لأنه حتى جدران الأوعية بمقدورها العمل "كجسم ثالث" يمتص الطاقة أو يعمل كمادة حفازة (ماناهان 1997).

وبسبب التراكيز المنخفضة من الذرات والجزيئات، تميل الكيانات المتفاعلة إلى أن تبقى في الطبقة العليا من الغلاف الجوي. وأهم الكيانات الكيميائية المتفاعلة هي:

- الكيانات المثارة بطريقة كيميائية ضوئية.
- الأيونات والإلكترونات (الكيانات المشحونة)؛
- الجزور الحرة.
- تدل العلامة* على أن الجزيئ مثار ألكترونياً

وقد لا يثير الدهشة كون التفاعلات الكيميائية الضوئية، التي تحدث في وجود الضوء، تقوم بدور مهم في كيمياء الغلاف الجوي.

نقطة رئيسية: لم يكن من الممكن أن تحدث العديد من هذه التفاعلات في غياب الضوء، خصوصاً تحت الظروف (درجة الحرارة على سبيل المثال) التي توجد في الطبقة العليا من الغلاف الجوي.

الحالة المثارة *X

يمكن أن تمتص المواد الكيمائية الموجودة في الغلاف الجوي الضوء لكي تتحول الى حالة مثارة... وتفقد هذه الجزيئات المثارة الطاقة بصورة رئيسية عن طريق:

- التفكك–الروابط التي تتكسر عند إمتصاص الفوتونات (الضوء)
- $O_2^* \Rightarrow O + O$
- التأين الضوئي–إزالة الكترون خارجي (الكترون تكافؤ) من الجزيئي عند إمتصاص فوتون

$N_2^* \Rightarrow N_2^* + e^-$

- التفاعل المباشر

$O_2^* + O_3 \Rightarrow 2O_2 + O$

الأيونات والإلكترونات Ions and electrons

توجد الأيونات والإلكترونات (ذرات مشحونة أو شظايا جزئيات) بكميات كبيرة جداً في الطبقة العليا من الغلاف الجوي (> 50 كيلومتر؛ بسبب أن الإشعاع الشمسي عالي الشدة) أي توجد في المنطقة التي تدعى بالغلاف الأيوني. ويكون انتقال موجات الراديو حول إنحناء الأرض ممكناً بسبب إرتداد موجات الراديو عن الغلاف الأيوني.

نقطة مثيرة للإهتمام: في الليل، يتوقف تكون الأيونات و"يرتفع" الحد الأدنى من الغلاف الأيوني بسبب إعادة الإتحاد، الشيئ الذي يسمح ببث موجات الراديو على مسافات شاسعة.

الجذور الحرة Free radicals

تتكون الجزور الحرة من ذرات أو من شظايا جزيئات بها ألكترونات غير مشتركة. وتتكون هذه الجزور الحرة نتيجة فعل الإشعاع ذي الطاقة العالية.

ويمكن لهذه الكيانات أن تتفاعل مع كيانات أخرى لكي تكون جزوراً جديدة، أو لكي "تخمد" بواسطة الجزور الأخرى.

ينتج أيون الهايدروكسيل، والذي هو كيان كيميائي بالغ الأهمية في كيمياء الغلاف الجوي، بعدد من التفاعلات تشمل:

$$H_2 \Rightarrow + hv\ HO^* + H$$
$$O_3 \Rightarrow + hv\ O^* + O2$$
$$O^* + H_2O \Rightarrow hv\ 2HO^*$$

تفاعلات أوكسجين الغلاف الجوي Reaction of atmospheric oxygen

يشكل الأوكسجين (O_2– الذي يشتق اسمه من المقطعين اللاتينين أوكسيس الذي يعني حمض، وجينس الذي يعنى مولد) بالتقريب خمس (21% من الحجم و2.3% من الوزن) الهواء الموجود في الغلاف الجوي. والأوكسجين الغازي مهم جداً لاستمرار الحياة التي نعرفها. وهو أكثر العناصر وفرة في الأرض. الا أن معظم الأوكسجين الموجود في الأرض لا يوجد في الحالة الحرة، بل يوجد متحداً مع عناصر أخرى. والماء وثاني أوكسيد الكربون هما مثالان شائعان للمركبات التي تحتوي على أوكسجين، الا أن هناك الكثير غيرهما.

يعتقد أن الكائنات التي تقوم بعملية التخليق الضوئي هي التي أنتجت كل جزيئات الأوكسجين O_2 الموجودة في الغلاف الجوي. ويوجد الأوكسجين في هيئته العنصرية وعلى هيئات أخرى:O_3،O^* O_2^* ،O في الجزء الأعلى من الغلاف الجوي.

نقطة رئيسية: يوجد أقل من 10% من الأوكسجين في الإرتفاعات التي تزيد على 400 كيلومتر على هيئة O_2.

والخواص الفيزيائية للأوكسجين O_2 مذكورة في الجدول 9.3

ينتج الأوكسجين الذري (O) بواسطة التفكك الكيميائي الضوئي لجزيئ الأوكسجين. كما يوجد في الغلاف الحراري ذي الكثافة المنخفضة.

$$O_2 + h\nu \Rightarrow O + O$$

ويمثل O^+ الكاتيون الأساسي في بعض أجزاء الغلاف الأيوني.

$$O + h\nu \Rightarrow O^+ + e^-$$

الجدول 9.3 الأكسجين : الخصائص الفيزيائية

الصيغة الكيميائية	**O_3**
الوزن الجزيئي	31.9988
درجة التجمد	361.12 - ف°
درجة الغليان	-297.33 ف°
حرارة الإنصهار	5.96 وحدة حرارية بريطانية/الرطل
حرارة التبخر	91.70 وحدة حرارية بريطانية/الرطل
كثافة الغاز عند درجة الغليان	0.2681 وحدة حرارية بريطانية/الرطل^3 lb/ft^3
كثافة الغاز عند درجة حرارة الغرفة	0.081 lb/ft^3 وحدة حرارية بريطانية/الرطل^3
كثافة البخار (الهواء= 1)	1.105
نسبة تمدد السائل الي الغاز	8.75

الاوزون (O_3)– والذي هو هيئة أخرى من هيئات الأوكسجين–هو غاز أزرق شاحب شديد الفعالية ذو رائحة نفاذة. والأوزون هو مركب متآصل للأوكسجين. والهيئة المتآصلة هي هيئة مختلفة من العنصر تمتلك مجموعة من الخواص الفيزيائية والكيميائية تختلف عن خواص الهيئة الطبيعية للعنصر. ولا توجد هيئات متآصلة الا للقليل من العناصر: الأوكسجين، والفسفور، والكبريت بعض من هذه العناصر. للأوزون، الذي يتكون حين تشطر الأشعة فوق البنفسجية أو التفريغات الكهربائية الهيئة الجزيئية الثابتة للأوكسجين (O_2)، ثلاث ذرات أوكسجين، وليس إثنتين، في كل جزيئ. لذا تكتب صيغته الكيميائية كالآتي O_3.

يكون الأوزون طبقة رقيقة (يصل تركيزها الى 10%) في الجزء الأعلى من الغلاف الجوي ويعمل كدرع واقٍ من الإشعاع (230–330 نانومتر) تحمي الحياة على الأرض من الأشعة فوق البنفسجية (التي تسبب سرطان الجلد). ويعتبر الأوزون الموجود على إرتفاعات منخفضة من الغلاف الجوي واحداً من

ملوثات الهواء، كما يساهم في تأثير الدفيئة. ويمكن أن يتسبب إستنشاق الأوزون الموجود في المستوى الأرضي في تهييج نوبات الربو، وفي الحد من نمو النباتات، وفي تآكل بعض المواد. والأوزون الذي ينتج من فعل ضوء الشمس على ملوثات الهواء (التي تشمل أبخرة عوادم السيارات)، هو ملوث هواء رئيسي يلاحظ بدرجة أكبر في مواسم الصيف الحارة.

$$O_2 + h\nu \Rightarrow O + O \ (<242.4 \text{ nm})$$

$$O + O_2 + M \Rightarrow O_3\ M \ (\text{طاقة زائدة})$$

نقطة رئيسية: يتحول الإشعاع الذي يمتصه الأوزون الى حرارة.

نقطة رئيسية: يعد الأوزون ملوثاً ساماً في التروبوسفير.

تفاعلات نيتروجين الغلاف الجوي Reaction of atmospheric nitrogen

يشكل النيتروجين (N_2) الجزء الأكبر من الغلاف الجوي (78.03% من حجم الغلاف الجوي، و75.5% من وزنه). وغاز النيتروجين الذي هو غاز عديم اللون، والرائحة، وغير السام، والذي هو غاز خامل تقريباً، هو غاز غير قابل للإشتعال، ولا يساعد على الإحتراق، ولا يدعم الحياة.

والنيتروجين هو جزء من الغلاف الجوي للأرض، بصورة رئيسية، لأنه تراكم عبر الزمن في الغلاف الجوي وظل في مكانه في إتزان. حدثت عملية تراكم النيتروجين في الغلاف الجوي لأنه غير متفاعل بدرجة كبيرة. وحينما يتم إطلاقه بشكل ما، فإنه يميل إلى أن لا يتحد مع العناصر الأخرى ويتراكم في الغلاف الجوي.

نقطة رئيسية: نحتاج للنيتروجين لا من أجل التنفس، بل لأجل العمليات الأخرى التي تحافظ على الحياة.

وعلى الرغم من أن النيتروجين عندما يكون في هيئته الغازية يكون ذا فائدة قليلة بالنسبة لنا، الا أنه يأتي بعد الأوكسجين، والكربون، والهيدروجين في ترتيب أكثر العناصر وجوداً في الأنسجة الحية. وبوصفه المكون الأساسي في

الكلوروفيل، والأحماض الأمينية والأحماض النووية–"وحدات بناء" البروتينات (التي تستخدم كمكونات بنيوية في الخلايا)– يعتبر النيتروجين أساسياً للحياة. لا يمكن أن تستخدم الحيوانات النيتروجين بصورة مباشرة، الا أنها تستخدمه عندما تتحصل عليه من أكل أنسجة النباتات أو الحيوانات وحدها. وتتحصل النباتات على النيتروجين الذي تحتاجه في شكل مركبات غير عضوية، وبالأخص النترات والأمونيوم.

يحول النيتروجين الغازي الى هيئة يمكن للنباتات أن تستخدمها (أيونات النترات) بصورة أساسية عبر عملية تثبيت النتروجين بواسطة دورة النيتروجين.

نقطة أساسية: لا تفكك الأشعة فوق البنفسجية في إرتفاعات تقل عن 100 كيلومتر النيتروجين ثنائي الذرات بسهولة.

$$N_2 + h\nu \Rightarrow N + N$$

يورد الجدول 10.3 الخواص الفيزيائية للنيتروجين.

الجدول 10.3 النيتروجين: الخصائص الفيزيائية

الصيغة الكيميائية	**N_2**
الوزن الجزيئي	28.01
كثافة الغاز عند 70° فهرنهيت	0.072
الثقل النوعي للغاز عند 70° فهرنهيت وضغط جوي 1 (الهواء = 1)	0.967وحدة حرارية بريطانية/الرطل^3
الحجم النوعي للغاز عند 70° فهرنهيت وضغط جوي 1	13.89وحدة حرارية بريطانية/الرطل^3
درجة الغليان عند ضغط جوي 1	-320.4° فهرنهيت
درجة الأنصهار عند ضغط جوي 1	- 345.8 فهرنهيت
درجة الحرارة الحرجة	- 232.4فهرنهيت
الضغط الحرج	493 رطل/البوصة ^{2}
الكثافة الحرجة	19.60 وحدة حرارية بريطانية/الرطل^3
الحرارة الكامنة للتبخر عند درجة الغليان	85.6وحدة حرارية بريطانية/الرطل^3
الحرارة الكامنة للإندماج عند درجة الإنصهار	11.1وحدة حرارية بريطانية/الرطل^3

تشمل أكاسيد النيتروجين–والتي يرمز إليها كلها بالصيغة NO_X ثاني أوكسيد النتروز (N_2O)، وأوكسيد النتريكNO، وثنائي النيتروجين ثلاثي الأوكسيد N_2O_3، وثاني أوكسيد النيتروجين NO_2، ورباعي النيتروجين ثنائي الأوكسيد N_2O_4، وثنائي النيتروجين خماسي الأوكسيد N_2O_5.

وأوكسيد النتريك، وثنائي أوكسيد النيتروجين، ورباعي أوكسيد النيتروجين هي غازات تتصاعد من النار. وينتج واحد أو أكثر من هذه الغازات عندما تحرق مركبات عضوية معينة محتوية على النيتروجين (عديدات اليوريثينات). وأوكسيد النتريك هو ناتج الإحتراق غير المكتمل، بينما ينتج خليط من ثاني أوكسيد النيتروجين ورباعي أوكسيد النيتروجين من الإحتراق المكتمل.

ويعتقد أنNO هو الآلية الرئيسية التي تتم بها إزالة الأوزون من الستراتوسفير.

$$O_3 + NO \Rightarrow NO_2 + O_2$$

$$NO_2 + O \Rightarrow NO + O_2$$ (إعادة توليدNO)

نقطة رئيسية: N_2Oهو السبب الرئيسي في تكون الضبخان الكيميائي الضوئي.

ثاني أوكسيد الكربون في الغلاف الجويAtmospheric carbon dioxide

ثاني أوكسيد الكربون هو غاز عديم اللون والرائحة (على الرغم من أن بعض الناس يحسون أن له رائحة نفاذة بدرجة ضئيلة وطعماً حارقاً)، وهو ذو ذوبانية منخفضة في الماء، وتزيد كثافته على كثافة الهواء (بمقدار مرة ونصف). وثاني أوكسيد الكربون لا يحترق ولا يدعم لا الإحتراق ولا الحياة.

عادة ما يوجد ثاني أوكسيد الكربون في الهواء الجوي بنسبة 0.035% من الحجم، ويتم تدويره عبر الغلاف الحيوي (دورة الكربون). وثاني أوكسيد الكربون إضافة الى بخار الماء هما المسؤولان الرئيسيان عن إمتصاص الأشعة تحت الحمراء التي يعاد بثها من الأرض. وفيما بعد يعاد إشعاع هذه الطاقة الى

سطح الأرض. ثاني أوكسيد الكربون هو ناتج نهائي طبيعي للاستقلاب الحيواني والبشري. ويحتوى زفيرنا على ما يصل الى 5.6% من ثاني أوكسيد الكربون. يطلق إحراق الوقود الأحفوري المحمل بالكربون ثاني أوكسيد الكربون في الغلاف الجوي. ويتم إمتصاص غالبية ثاني أوكسيد الكربون بواسطة مياه المحيطات؛ وتأخذ بعض النباتات ثاني أوكسيد الكربون بواسطة النباتات عبر عملية التخليق الضوئي في دورة الكربون؛ بينما يظل بعض ثاني أوكسيد الكربون في الغلاف الجوي.

نقطة مثيرة للإهتمام: اليوم، يقدر العلماء تركيزات ثاني أوكسيد الكربون التي تبقى في الغلاف الجوي بما يقارب 350 جزء من المليون تتزايد بمعدل يقارب 20 جزء من المليون في العقد. والمعدل المتزايد لإحتراق الفحم والنفط هو المسؤول بصورة أساسية عن هذه المستويات من ثاني أوكسيد الكربون، والتي قد يكون لها تأثير على المناخ العالمي.

يسرد الجدول 11.3 الخواص الفيزيائية لثاني أوكسيد الكربون

الجدول 11.3 ثاني أوكسيد الكربون: الخصائص الفيزيائية

الوزن الجزيئي	**44.01**
ضغط البخار عند 70° فهرنهيت	838
كثافة الغاز عند 70° فهرنهيت وضغط جوي 1	0.1144وحدة حرارية بريطانية/الرطل^3
الثقل النوعي للغاز عند 70° فهرنهيت 1)وضغط جوي 1 (الهواء =	1.522
الحجم النوعي للغاز عند 70° فهرنهيت وضغط جوي 1	8.741 وحدة حرارية بريطانية/الرطل^3
درجة الحرارة الحرجة	-109.3°فهرنهيت
الضغط الحرج	1070.6
الضغط الحرج	29.2 وحدة حرارية بريطانية/الرطل^3
الحرارة الكامنة للتبخر عند درجة الغليان	100.8 وحدة حرارية بريطانية/الرطل
الحرارة الكامنة للإندماج عند- 69.9°	85.6وحدة حرارية بريطانية/الرطل

ملوثات الهواء Air pollutants

في العادة، كان من الملائم أن تصنف ملوثات الهواء الى غير عضوية (الحبيبات، أكاسيد الكربون، وأكاسيد الكبريت، وأكاسيد النيتروجين) وعضوية (الملوثات المباشرة التي تتسبب في السرطان، إلخ، والملوثات الثانوية التي تساهم في الضبخان الضوئي الكيميائي). على الرغم من أن ماناهان يشير الى أن" هناك إرتباطاً وثيقاً بين المواد العضوية وغير العضوية في الغلاف الجوي" (1997)، إلاّ أننا نتبع التقليد، ونناقش ملوثات الهواء كل على حدة، كملوثات عضوية وغير عضوية.

غير أننا وقبل أن نناقش ملوثات الهواء المتعددة، نشير الى أن أي مادة توجد في المكان الخاطئ أو الزمان الخاطئ تعتبر ملوثاً. وبصورة أكثر تحديداً، يمكن تَعريف تلوث الغلاف الجوي على أنه "وجود مادة في الجو، ناتجة من الأنشطة البشرية أو من العمليات الطبيعية، تترتب عليه آثار ضارة بالبشر وبالبيئة. (وببساطة)، تلوث الهواء هو مصطلح يستخدم لوصف أي مواد كيميائية أو مواد أخرى غير مرغوب فيها تلوث الهواء الذي نتنفسه وينتج عنها تدهور جودة الهواء" (ملوثات الهواء 2002).

نقطة رئيسية: الملوثات غير العضوية التي سوف تُناقش فيما يلي هي ملوثات ممثلة لتلك التي توجد في الهواء فوق المناطق الحضرية وتنتج من الأنشطة البشرية. تشمل هذه الملوثات أكاسيد النيتروجين، وأول أوكسيد الكربون، وثاني أوكسيد الكبريت، والمواد الحبيبية. تدعى كل هذه الملوثات بالملوثات الأولية لأنها تبعث بصورة مباشرة الى الغلاف الجوي.

ملوثات الهواء غير العضوية Inorganic air pollutants

المادة الحبيبية Particulate matters

يشير هاستي الى أن المواد الحبيبية الجوية (الهباء) مهمة للغلاف الجوي لأربعة أسباب على الأقل.

توفر المواد الحبيبية مصبات للغازات، على سبيل المثال تحتوي المادة الحبيبية على الكبريتات والنترات الناتجة من أكسدةSO_2 وNO_2. كما توفر هذه المواد سطحاً للتفاعلات الكيميائية، وتشهد على ذلك الكيمياء ذات الصلة بنضوب طبقة الأوزون فوق القطب الجنوبي. ويمكن للجسيمات الحبيبية أن تحمل المواد الكيميائية السامة مثل المركبات الهيدروكربونية متعددة الأروماتية الى مناطق نائية، وهذه هي الطريقة التي تصل بها العديد من المركبات السامة الى القطب الجنوبي. يمكن للمواد الحبيبية أيضاً أن تخترق القصبة الهوائية والرئة متسببة في حدوث مشاكل صحية مثل التهاب الشعب الهوائية والإلتهابات الرئوية، ويوجد فيض من الأدلة التي تربط بين الوفيات ومستويات المواد الحبيبية (هاستي 2002).

تُعرَّف المادة الحبيبية الجوية بأنها أي مادة مشتته، صلبة أو سائلة، تكون فيها أحجام التجمعات المنفردة أكبر من أحجام الجزيئات الصغيرة المنفردة (يبلغ قطرها حوالى 0.0002 ميكروميتر)، إلاّ أن أحجامها تقل عن 500 ميكروميتر (ماسترز 1991). في الواقع، مصطلح المادة الحبيبية هو مصطلح جمعي يستخدم لوصف جسيمات صلبة أو سائلة توجد في الغلاف الجوي لفترات وجيزة (دقائق) أولفترات ممتدة (أيام الى أسابيع). تختلف أحجام الجسيمات المنفردة من حيث الحجم، والهندسة، والكتلة، والتركيز، التكوين الكيميائي، والخواص الفيزيائية. قد تنتج هذه المواد من الطبيعة أو من الأنشطة البشرية.

تعلق كميات كبيرة من المواد الحبيبية في الغلاف الجوي، خصوصاً في منطقة التروبوسفير. يرجع أصل بعض هذه المواد الحبيبية الموجودة في الطبيعة الى الدخان، ورذاذ البحر، والغبار، وتتبخر المواد الكيميائية من الغطاء النباتي أيضاً. توجد أيضاً مجموعة متنوعة من الجسيمات الطبيعية الحية وشبه الحية– حبيبات الأبواغ، وحبوب اللقاح، والسوس والكائنات الضئيلة الأخرى،

والدايتومات. يحتوي الغلاف الجوي أيضاً على كميات مذهلة من الحبيبات ذات المنشأ البشري التي تنتجها السيارات، والمصافي، والطواحين، وعدد من الأنشطة البشرية الأخرى.

تشمل العناصر الموجودة في المواد الحبيبية:

- الألمونيوم والحديد، والكالسيوم، والسيلكون من التربة، أو الصخور، أو إحتراق الفحم.
- الكربون من الإحتراق غير المكتمل
- الصوديوم، والكلور من الهباء البحري، أو الترميد، أو البوليمرات المحتوية على مركبات عضوية بها هالوجينات.
- الأنتيمون والسيلينيوم من إحتراق النفط، أو الفحم، أو الفضلات.
- الفانديوم، والخارصين، والرصاص من الإحتراق؛ و
- البيريليوم، والكالسيوم، والكروم، والنيكل، والزرنيخ، والزئبق من المصادر المختلفة.

تختلف الجسيمات الحبيبية بشدة من حيث الحجم، وتتراوح أحجامها بين أحجام التجمعات الجزيئية الى الأحجام التي يمكن رؤيتها بالعين المجردة. تسمى الجسيمات ذات الأحجام الغروية الموجودة في الغلاف الجوي بالهباء–ويقل حجمها في العادة عن 0.1 مليمتر؛ وأصغر هذه الحبيبات هي التجمعات الغازية والأيونات والسوائل والمواد الصلبة التي يقل حجمها عن الميكروميتر؛ وبطريقة ما تنتج الجسيمات الحبيبية الأكبر اللون الأزرق الجميل للسديم الذي نراه في الآفاق البعيدة؛ والجسيمات الأكبر بمرة أو مرتين لها المقدرة على تشتيت الضوء؛ وتتكون الجسيمات الأكبر من أشياء مثل شظايا الصخور، وبلورات الملح، والبقايا الرمادية من البراكين، أو من حرائق الغابات، أو من الترميد.

دائماً ما يوجد الجزء الأكبر من الجسيمات الحبيبية في المدى غير المرئي. وتتراوح أعداد هذه الجسيمات بين ما يقل عن واحدة في اللتر أو أكثر من ذلك الى نصف مليون في السنتميتر المكعب في الهواء شديد التلوث والى ما يزيد عن عشرة أضعاف هذه النسبة حينما يحدث التفاعل الذي تتحول فيه الغازات الى جسيمات (1981,Schaefer and Day)

وإستناداً الى مستوى الجسيمات الحبيبية يمكننا أن نعرف منطقتين مميزتين من الغلاف الجوي: المنطقة شديد النظافة والمنطقة القذرة. تحمل الأجزاء النظيفة أعداداً ضئيلة من الجسيمات الحبيبية بحيث أنها تكاد تكون غير مرئية، الشيئ الذي يصعب من مهمة جمع وقياس هذه الحبيبات. وفي الأجزاء القذرة من الغلاف الجوي–على سبيل المثال، الهواء الموجود فوق المناطق الحضرية الكبيرة–يحتوي تركيز المواد الحبيبية على أعداد لا تصدق من أنواع مختلفة من الحبيبات التي تنتج من أنواع مختلفة من المصادر.

تقوم الجسيمات الحبيبية الموجودة في الجو بعدد من الوظائف، وتمر بعدد من العمليات المختلفة، كما تشارك في عدد من التفاعلات الكيميائية التي تحدث في الغلاف الجوي. وربما قد تكون الوظيفة الأهم للمواد الحبيبية الموجودة في الغلاف الجوي هي عملها كأنوية تتكون حولها قطرات المياه وبلورات الثلج. وتضمنت الغالبية من الأعمال التي قام بها فينسنت شيفر (مخترع تبزير السحب) استخدام الثلج الجاف في المحاولات الباكرة، الا أنها تطورت فيما بعد لتتضمن إضافة جسيمات تكثيف للمناطق الجوية المشبعة ببخار الماء بإضافة جسيمات أيوديد الفضة، التي تكون عدداً مهولاً من الجسيمات الصغيرة. والوظيفة المهمة الأخرى للجسيمات الموجودة في الغلاف الجوي هي أنها تساعد في تحديد الإتزان الحراري للغلاف الجوي عن طريق عكسها للضوء. والمواد الحبيبية تدخل أيضاً في التفاعلات الكيميائية التي تحدث في الغلاف الجوي– تفاعلات التعادل، والحفز، والأكسدة.

أكاسيد الكربون Carbon oxides

أول أوكسيد الكربون (CO) هو غاز عديم اللون، والرائحة، والطعم، وهو أكثر الغازات وفرة من بين الملوثات الأولية الى درجة بعيدة كما يدل على ذلك الجدول 12.3.

الجدول 12.3 تقييمات الإنبعاثات في الولايات المتحدة، 1986 (10^{12}غرام/العام)

المصدر	SO_x	NO_x	المواد العضوية المتطايرة	CO	الرصاص	المواد الحبيبية
النقل	0.9	8.5	6.5	42.6	0.0035	1.4
وقود المصدر الثابت	17.2	10.0	2.3	7.2	0.0005	1.8
العمليات الصناعية	3.1	0.6	7.9	4.5	0.0019	2.5
التخلص من النفايات الصلبة	0.0	0.1	0.6	1.7	0.0027	0.3
إضافية	0.0	0.1	2.2	5.0	0.0000	0.8
المجموع	**21.2**	**19.3**	**19.5**	**61.0**	**0.0066**	**6.8**

أي بي إي، التقييمات الوطنية لإنبعاثات الهواء 1940-1986، 1988.

لأول أوكسيد الكربون تأثير ضئيل مباشر على الأنظمة البيئية، الا أن له تأثيراً بيئياً غير مباشر بواسطة مساهمته في أثر الدفيئة، وفي نضوب طبقة الأوزون الحامية للأرض.

نقطة مهمة: زمن بقاء أول أوكسيد الكربون في الغلاف الجوي هو أربعة أشهر بالتقريب.

أهم المصادر الطبيعية لأول أوكسيد الكربون في الغلاف الجوي هو إتحاد الأوكسجين مع الميثان(CH_4)، والذي هو ناتج التفكك غير الهو ائي للنباتات (يحدث التفكك اللاهوائي في غياب الأوكسجين). وفي الوقت ذاته، يزال أول أوكسيد الكربون من الغلاف الجوي بأنشطة بعض الكائنات الحية المجهرية

الموجودة في التربة، لذلك تكون النتيجة النهائية هي تركيز متوسط غير ضار يقل عن 0.12–15 جزء من المليون في النصف الشمالي من الكرة الأرضية.

ولأن منشآت مصادر الإحتراق الثابتة تخضع لتحكم بيئي أكثر تشدداً بالمقارنة بالمصادر المتحركة، فإن المصدر الرئيسي لأول أوكسيد الكربون هو دخان عوادم السيارات، الذي يساهم بسبعين في المائة من كل إنبعاثات أول أوكسيد الكربون في الولايات المتحدة.

نقطة رئيسية: تعمل الكائنات الحية المجهرية كمصب لأول أوكسيد الكربون.

يتفكك أول أوكسيد الكربون ببطء في الغلاف الجوي لكي ينتج ثاني أوكسيد الكربون(CO_2). ويساهم ثاني أوكسيد الكربون والغازات الأخرى التي تقوم بإمتصاص الأشعة تحت الحمراء في الغلاف الجوي في الإحترار العالمي (تأثير الدفيئة).

نقطة رئيسية: غازات الميثان، وكلورات فلورات الكربون، وبخار الماء، وأوكسيد النيتروز هي أيضاً غازات دفيئة.

غازات الدفيئة والإحترار الكوني Green house gases and global worming

يفهم معظم البستانيين تشغيل وأهمية بيوت الدفيئة في الحدائق. يتكون بيت الدفيئة في العادة من جدران وسقف زجاجي. والحواجز الزجاجية هذه شفافة، بالطبع، للأطوال الموجية القصيرة من الشمس، التي يتم إمتصاصها بواسطة الأسطح والأجسام الموجودة في الداخل. وما أن تتم عملية الإمتصاص هذه، حتى تتحول الأشعة الى الأطوال الموجية الأطول (الأشعة تحت الحمراء) أي تتحول الى حرارة، يعاد إشعاعها الى الجزء الداخلي من بيت الدفيئة. إلا أن الزجاج لا يسمح للأطوال الموجية الطويلة بأن تهرب؛ وبدلاً من ذلك يمتص الزجاج الأشعة الدافئة. وبسبب الحرارة المحتجزة في الداخل يصبح الجزء الداخلي من الدفيئة أدفأ بكثير من الهواء الموجود في الخارج.

يسمح الغلاف الجوي لتأثير الدفيئة نفسها أن يحدث. الأمواج القصيرة والإشعاع المرئي الذي يصل الى الأرض يتم إمتصاصها في شكل حرارة. بعد ذلك يعاد إشعاع أمواج الحرارة الطويلة الى الفضاء، إلاّ أن الغلاف الجوي يمتص الكثير من هذه. وهذه العملية الطبيعية أساسية لوجود الحياة كما نعرفها على الأرض. وتحدث المشاكل عندما تغير التغييرات التي تحدث في الغلاف الجوي بصورة جزرية من مقدار الإمتصاص، وبالتالي، من مقدار الحرارة المستبقاة. خمن العلماء في العقود الأخيرة أن هذه التغيرات قد تكون بسبب أن عدداً من ملوثات الهواء قد تسببت في إمتصاص المزيد من الحرارة. وتحدث هذه الظاهرة على مستوى محلي مع تلوث الهواء، متسببة بذلك في تكوين جزر حرارية في المناطق الحضرية وفي ما حولها.

وكما ذكرنا من قبل، فإن المساهمات الرئيسية في هذا الأثر هي ما تسمى بغازات الدفيئة: بخار الماء، وثاني أوكسيد الكربون، وكلورات فلورات الكربون، والميثان، والمركبات العضوية المتطايرة. تؤخر هذه الغازات من هروب الأشعة تحت الحمراء من الأرض الى الفراغ، متسببة بذلك في حدوث تغير مناخي عام. لاحظ أن العلماء يشددون على أن هذه عملية طبيعية. وفي الواقع، كانت درجة حرارة الأرض لتكون أبرد بثلاثة وثلاثين درجة من وضعها الحالي لولم تكن غازات الدفيئة "الطبيعية" موجودة (Hansen et al 1986).

ومشكلة تأثير الدفيئة في الأرض هي أن الأنشطة البشرية تزيد من شدة هذه الظاهرة الطبيعية، الشيئ الذي يؤدي الى الإحترار العالمي. والجدل والغموض والتخمينات منتشرة بشدة حول التبعات المحتملة لهذا الأثر. والعلماء ليسوا على يقين من أن النزعة التي نراها حالياً في كل أنحاء العالم بخصوص الإحترار العالمي هي ناتج غازات الدفيئة أو ناتج سبب آخر، أو ما إذا كانت هذه الظاهرة هي ببساطة ناتج إختلاف أكبر في نزعات التسخين والتبريد التي يدرسونها. وإذا ما استمرت هذه الظاهرة من دون تدخل، فإنها قد تؤدي الى

إحترار عالمي كبير ذي آثار بعيدة المدى. وتأثير البشر على تأثير الدفيئة هو أمر حقيقي؛ تم الكشف عنه وقياسه. زادت معدلات غازات الدفيئة بصورة سريعة في العقود الأخيرة، وهذه النزعة ما زالت مستمرة. والمعدل الذي تزيد به شدة تأثير الدفيئة هو خمسة أضعاف ما كان عليه الحال في القرن التاسع عشر.

نقطة رئيسية: تتنبأ معظم النماذج الحاسوبية بحدوث إحترار عالمي يبلغ ما بين 1.5الى 5 درجات مئوية، الشيئ الذي سوف تكون له آثار عميقة على هطول الأمطار، وعلى نمو النباتات، وعلى مستويات البحار (التي ترتفع بما يصل الى 1.5 أمتار).

في الوقت الحالي، يستطيع العلماء أن يشيروا الى ستة عوامل قد تكون ذات صلة بالإحترار والتبريد العالميين.

1. يمكن للإحترار والتبريد العالميين طويلي المدى أن ينتجا من التغيرات في موضع الأرض بالنسبة للشمس وتتزايد درجات الحرارة عندما تقترب الأرض من الشمس، وتتناقص عندما يبتعدان عن بعضهما البعض.
2. يمكن للإحترار والتبريد العالميين طويلي المدى أن ينتجا من الكوارث الكبيرة (الإصطدام بالمذنبات والإنفجارات البركانية الهائلة) التي تقذف بالملوثات التي يمكنها أن تحجب الإشعاع الشمسي الى الغلاف الجوي.
3. يمكن للإحترار والتبريد العالميين طويلي المدى أن ينتجا من حدوث التغيرات في الوضاءة (إنعكاسية سطح الأرض). إذا كان سطح الأرض أكثر مقدرةً على عكس الأشعة، على سبيل المثال، فإن زيادة

مقدار الإشعاع الشمسي المبثوث مرةً أخرى الى الفضاء بدلاً من إمتصاصه، سوف تنقص من درجة الحرارة على الأرض.

4. يمكن للإحترار والتبريد العالميين طويلي المدى أن ينتجا من التغيرات في مقدار الأشعة التي تبثها الشمس.

5. يمكن للإحترار والتبريد العالميين طويلي المدى أن ينتجا من التغير في أشكال اليابسة والمحيطات ومن التغير في العلاقة بينهما.

6. يمكن للإحترار والتبريد العالميين طويلي المدى أن ينتجا من التغيرات في تكوين الغلاف الجوي.

ويصعب التنبؤ بالآثار الحقيقية لغازات الدفيئة بسبب:

- دور المحيطات
- تأثير السحب
- آلية التغذية الراجعة

ثاني أوكسيد الكبريت (SO_2) Sulfur dioxide

ثاني أوكسيد الكبريت غاز عديم اللون، ذو رائحة حادة نفاذه شبيهة برائحة المطاط المحترق. وعلى مستوى العالم، تنتج الطبيعة والبشر كميات متساوية تقريباً من هذا الغاز. وتشمل مصادره الطبيعية البراكين، والمواد العضوية المتحللة، ورذاذ البحر؛ بينما تشمل مصادره البشرية إحتراق الفحم والنفط الذي يحتوي على الكبريت، وصهر الخامات التي تخلو من الحديد.

نقطة رئيسية: مستويات الخلفية لثاني أوكسيد الكبريت منخفضة جداً، وتتراوح التراكيز العادية ما بين 24 الى 90 جزءاً من المليون في وحدة الحجم. وفي المناطق النائية التي لا تتأثر بمصادر الملوثات، تقل تراكيز ثاني أوكسيد الكبريت عن 5 أجزاء من المليون في وحدة الحجم.

وبحسب معهد موارد العالم والمعهد العالمي للبيئة والتنمية (دبليوآر آي واي آي إي دي)، تأتي غالبية ثاني أوكسيد الكبريت في المناطق الصناعية من المصادر البشرية بدلاً من المصادر الطبيعية (دبليوآر آي وآي آي إي دي 1988). دائماً توجد المواد المحتوية على الكبريت في الوقود الأحفوري. ولأن ثاني أوكسيد الكبريت هو ناتج إحتراق، عليه، يطلق ثاني أوكسيد الكبريت من هذه المواد عندما تحترق. وتنتج الكمية الأكبر من ثاني أوكسيد الكبريت عند إحراق الوقود الأحفوري لتوليد الطاقة الكهربائية. ونتيجة لذلك، دائماً ما نصادفه كمشكلة جدية بالقرب من المناطق الصناعية.

نقطة رئيسية: يدخل 100 مليون طن متري من الكبريت الى الغلاف الجوي بسبب الأنشطة البشرية، وتشمل هذه بصورة أساسية حرق الفحم ونفط الوقود.

يتحول ثاني أوكسيد الكبريت في الهواء الى ثلاثي أوكسيد الكبريت (SO_3) والى جسيمات الكبريتات (SO_4). تحد جسيمات الكبريتات من الرؤية، كما تكون حمض الكبريتيك (H_2SO_4)، وهو حمض حات جداً، كما أنه يقلل من الرؤية.

زاد المنتج العالمي من ثاني أوكسيد الكبريت ستة أضعاف منذ العام 1900. قللت معظم الدول الصناعية من مستويات ثاني أوكسيد الكبريت، منذ الفترة ما بين 1975-1985، بما يصل الى 20-60% بالتحول بعيداً من الصناعة الثقيلة وبتطبيق معايير إنبعاث أكثر تشدداً. أتت معظم الإنخفاضات الأكبر كمية كميات ثاني أوكسيد الكبريت من حرق الفحم ذي المحتوى المنخفض من الكبريت ومن تقليل استخدام الفحم لإنتاج الكهرباء (1988 Mackenzie and El-Ashry).

نشأت مشكلتان بيئيتان كبيرتان في المناطق التي تغلب عليها الصناعة من

العالم، حيث تكون تراكيز ثاني أوكسيد الكبريت مرتفعة نسبياً: الضبخان الكبريتي، والمطر الحمضي. أما الضبخان الحمضي فهو سديم ينشأ في الغلاف الجوي عندما تتراكم جزيئات حمض الكبريتيك الى أن يصل حجمها الى حجم قطرات كبيرة بما يكفي لكي تشتت الضوء. والمشكلة الثانية، المطر الحمضي، هي الترسيب الذي تلوث بالأحماض المذابة مثل حمض الكبريتيك. شكل المطر الحمضي خطراً على البيئة بقتله للحياة المائية في بعض البحيرات.

نقطة رئيسية: يؤثر ثاني أوكسيد الكبريت بصورة أساسية على المجرى التنفسي، ويتسبب في زيادة إنتاج المخاط وفي زيادة مقاومة الهواء. ثاني أوكسيد الكبريت مضر أيضاً بالنبات، بتسببه في إحداث تليف النباتات/او إصفرار الأجزاء الخضراء من النباتات.

أكاسيد النتروجين (NO_X) Nitrogen oxides

للنتروجين سبع أكاسيد معروفة (NO_2، NO_3، N_2O، N_2O_3، N_2O_4، N_2O_5 ، NO)، إلا أن إثنتين منها هي المهمة في دراسة تلوث الهواء: أوكسيد النتريك (NO)، وثاني أوكسيد النتروجين (NO_2).

نقطة رئيسية: ينتج أوكسيد النيتروز N_2O بواسطة الميكروبات وهو غير متفاعل الى درجة ما، كما يمكن له أن يساهم في نضوب طبقة الأوزون. يعرف أوكسيد النتريك NO عديم اللون، والمذاق، وثنائي أوكسيد النيتروجين (NO_2) ذواللون البني المحمر والرائحة النفاذة بأكاسيد النتروجين NO_X التي تقوم بدور مهم جداً في تلوث الهواء.

أوكسيد النتريك هو غاز عديم اللون، والمذاق، ذو مذاق حلو، وغير سام بصورة نسبية وينتج من الأفعال الطبيعية والبشرية. بكتيريا التربة مسؤولة عن إنتاج الكمية الأكبر من أوكسيد النتريك المنتج في الطبيعة والذي يتم إطلاقه للجو. وبداخل الغلاف الجوي يتحد أوكسيد النتريك بسهولة مع الأوكسجين لكي يكون NO_2 ، ويشار الى هذين الأوكسيدين سويةً بالرمز NO_X (أكاسيد النتروجين). يتكون NO_X في الطبيعة بواسطة البرق وتفكك

المادة العضوية. ينتج ما يقارب 50% من أكاسيد النتروجين ذات المنشأ البشري من محركات السيارات، بينما تبعث 30% من منشأآت الطاقة، وتنتج العشرون في المائة المتبقية من العمليات الصناعية.

يميز العلماء بين نوعين من أنواع أكاسيد النتروجين–الحرارية والناتجة من الوقود–إعتماداً على طريقة تكوينها. ينتج NO_x الحراري عندما يتحد النتروجين والأوكسجين في هواء الإحتراق (على سبيل المثال، الأوكسجين والنتروجين الموجودين في آلة الإحتراق الداخلي) نتيجة لتعريضهما لدرجة حرارة مرتفعة بما فيه الكفاية (أعلى من 1000 على مقياس كلفن). ينتج NO_x الوقود من أكسدة النتروجين (إتحاده مع أوكسجين الهواء) الموجود في الوقود، مثل الفحم. ينتج كلا نوعي NO_x أوكسيد النتريك إبتداءاً، وبعد ذلك، وعندما ينفس ويبرد، يتحول جزء من أوكسيد النتريك الى ثاني أوكسيد الكبريت. وعلى الرغم من أن كلا نوعي NO_x مساهمان كبيران في الإنبعاثات الكلية NO_x، فإن أكاسيد النتروجين الناتجة من الوقود هي المساهم الأكبر، ويأتي نصف هذه الأخيرة من منشأآت الطاقة (المصادر الساكنة) بينما يأتي النصف الآخر من السيارات (المصادر المتحركة).

ثاني أوكسيد النتروجين أكثر سمية من أوكسيد النتريك (بأربعة أضعاف)، وهو ملوث أكبر ضرراً منه كذلك بكثير. يعتقد أن التراكيز العالية من ثاني أوكسيد النتروجين تساهم في إحداث الضرر بالقلب، والرئة، والكبد، والكلى. إضافة لما سبق، ولأن لثاني أوكسيد النتروجين لون بني (يضفي على الضبخان لوناً بنياً محمراً)، فإنه يحد من الرؤية. حينما يتحد ثاني أوكسيد النتروجين مع بخار الماء في الغلاف الجوي، فإنه يكوِّن حمض النتريك (HNO_3)، وهو مادة حاتة تتسبب في دمار النباتات وتآكل الأسطح المعدنية عندما تهطل في شكل مطر حمضي.

إرتفعت تراكيز NO_x في بعض البلدان، ثم ظلت ثابتة لحين من الزمن، ثم

بدأت في الإنخفاض أثناء سبعينيات القرن العشرين. وخلال الفترة الزمنية نفسها لم تتناقص تراكيز أوكسيد النتروجين بذات الدرجة الدراميتيكية التي تناقصت بها تراكيز ثاني أوكسيد الكبريت، ويرجع ذلك بصورة أساسية إللى أن جزءاً كبيراً من تراكيز NO_x يأتي من ملايين السيارات، بينما يطلق الجزء الأكبر من ثاني أوكسيد الكبريت بواسطة عدد صغير نسبياً من منشأآت الطاقة الحارقة للفحم والتي يتحكم في إنبعاثاتها.

المطر الحمضي Acid rain

معظم مياه الأمطار فيها حمضية خفيفة بسبب المادة العضوية المتحللة، وحركة البحار، والإنبعاثات البركانية، إلاّ أن العامل الرئيسي هو ثاني أوكسيد الكربون في الغلاف الجوي، والذي يتسبب في تكوين حمض الكربونيك . المطر الحمضي (الذي يبلغ أسه الهيدروجيني < 5.6) هو مصطلح عام يستخدم لوصف عدة طرق تخرج بها الأحماض من الغلاف الجوي. والتعبير الأكثر دقة هو الترسيب الحمضي الذي يتكون من جزيئين: رطب (هطول حمضي) وجاف (غازات جافة). يتكون المطر الحمضي عند ما تتحول الملوثات الأولية مثل ثاني أوكسيد الكبريت وأكاسيد النتروجين الى حمضي الكبريتيك والنتريك بالترتيب. هذه العمليات معقدة، وتعتمد على عمليات الإنتشار الفيزيائية وعلى معدلات التحولات الكيميائية.

نقطة رئيسية: المطر الحمضي مشكلة بيئية جدية تؤثر على أجزاء كبيرة من الولايات المتحدة وكندا.

وبعكس الإعتقاد الشائع، ليس المطر الحمضي بالظاهرة الجديدة، كما أنه لا يحدث بسبب التلوث الصناعي وحسب. تنتج العمليات الطبيعية مثل الإنبعاثات البركانية وحرائق الغابات جسيمات الأحماض وتبثها الى الهواء. كما يساهم حرق الغابات من أجل تنظيف الأراضي في البرازيل، وأفريقيا، والدول الأخرى بدوره في المطر الحمضي. إلاّ أن التزايد في الصناعة الذي بدأ مع الثورة

الصناعية يقزم بصورة حرفية من المساهمات الأخرى كلها في هذه المشكلة. والمتهم الرئيسي هو إنبعاثات ثاني أوكسيد الكربون من حرق الوقود الأحفوري، مثل النفط والفحم، وأوكسيد النتروجين الذي يتكون بصورة أساسية من إنبعاثات مكينات الإحتراق الداخلي التي تتحول بسهولة الى ثاني أوكسيد النتروجين.

وتمتزج هذه الأوكسيدات في الغلاف الجوي لكي تكون حمضي الكبريت والنتريك.

$$SO_2 + 1/2O_2 + H_2O \xrightarrow{\text{عدة خطوات}} 2H^+ + SO_4^{-2}\,(aq)$$

$$2NO_2 + 1/2O_2 + 2H_2O \xrightarrow{\text{عدة خطوات}} 2\{H^+ + NO_3^-\,(aq)$$

وفي شأن التعامل مع الترسيب الحمضي الناتج من الغلاف الجوي، لا يقف النظام البيئي للأرض مكتوف اليدين بصورة كاملة؛ إذ يمكنه أن يعالج مقداراً معيناً من الأحماض بواسطة المواد القاعدية في التربة أو الصخور والتي تعمل على معادلة الأحماض. تتميز مناطق الغرب الاوسط في الولايات المتحدة الأمريكية وجنوبي إنجلترا بتربة ذات قاعدية مرتفعة (الأحجار الجيرية والأحجار الرملية) توفر بعض المعادلة الطبيعية. إلاّ أن المناطق ذات التربة الرقيقة وتلك المناطق التي تقع على صخور غرانيتية تعوزها القدرة على معادلة المطر الحمضي.

وعلى الرغم من الأبحاث المكثفة حول المناحي المختلفة للمطر الحمضي، فإن العلماء ما زالوا على إختلاف وعدم يقين بشأن بعض أجزاء هذا القضية. وهذا هو السبب الذي يدفع الدول المتقدمة والتقدمية للتأكيد على أهمية استمرار إجراء الأبحاث على موضوع المطر الحمضي. وهذا هو السبب الذي من أجله تمت تقوية قانون الهواء النظيف للعام 1990 من أجل البدء في تخفيض مستويات ثاني أوكسيد الكبريت بصورة دائمة.

نقطة رئيسية: تساهم ملوثات الهواء غير العضوية في عدد من المشاكل

وتشمل هذه إعتام الرؤية، والمطر الحمضي، وتزايد المشاكل التنفسية، وتأثير الدفيئة.

الكلوروفلوروكربونات (CFCs) Chlorofluorocarbons

كلورات فلورات الكربون هي مجموعة من المركبات التي صنعها البشر، وتُعرَّف هذه المركبات بأسمائها التجارية "الفريون" و"الجنيترون" و"الأيسترون".
كلورات فلورات الكربون هي مركبات شديدة التطاير، تساهم في تلوث الهواء. وكلورات فلورات الكربون مركبات غير عادية بسبب أنها لا تتفكك عندما تتبخر الى الغلاف الجوي. بدلاً عن ذلك تتصاعد هذه المركبات ببطء عبر الغلاف الجوي، وتستغرق ما بين ستة الى ثمانية أعوام لكي تصل الى الستراتوسفير. ويمكن لهذه المركبات أن تبقى في الستراتوسفير لما يزيد على مائة عام.
وتقوم كلورات فلورات الكربون بدور في خطرين يتهددان بيئة الأرض: تأثير الدفيئة، وإضعاف طبقة الأوزون. تساهم كلورات فلورات الكربون في تأثير الدفيئة، وتدفئ الغلاف الجوي بإحتجازها للحرارة التي يعاد بثها فيما بعد الى داخل الغلاف الجوي. وكلورات فلورات الكربون فعالة بما يفوق 1000 مرة في إحتجاز الحرارة المشعة مقارنة بثاني أوكسيد الكربون.
كذلك دلت الدراسات على أن كلورات فلورات الكربون تساهم في نضوب طبقة الأوزون الحامية الموجودة في الغلاف الجوي. يسمح نضوب طبقة الأوزون بإمرار مقادير أكبر من الأشعة فوق البنفسجية الى الأرض. تؤثر هذه الزيادة في الأشعة فوق البنفسجية على صحة البشر لأنها تزيد من احتمالية تعرضهم لسرطان الجلد ولإعتام عدسة العين، كما أنها قد تضعف الجهاز المناعي للجسم. تقلل زيادة الأشعة فوق البنفسجية كذلك من منتوجية المحاصيل، وتؤدي الى نضوب مصايد الأسماك البحرية، وتدمر مواد البناء، وتزيد من الضبخان.

الملوثات العضوية للهواء Organic air pollutants

تقسم الملوثات العضوية للهواء الى صنفين

- **الملوثات المباشرة** التي تسبب السرطان، إلخ
- **الملوثات الثانوية** التي تساهم في **الضبخان الكيميائي الضوئي.**

الضبخان الكيميائي الضوئي Photochemical smog

يمكن القول إن أكثر ملوثات الهواء ضرراً هو الأوزون. بينما تقوم المؤكسدات الكيميائية الضوئية الأخرى (نترات البيروكسي أستيل، وبيروكسيد الهيدروجين H_2O_2، والألدهيدات) بأدوار ثانوية. وتعتبر هذه الغازات جميعها غازات ثانوية لأنها لا تنبعث، بل تتكون في الغلاف الجوي بالتفاعلات الكيميائية الضوئية للغازات المنبعثة، خصوصاً، NO_X، مع ضوء الشمس.

نقطة رئيسية: تتوفر الظروف اللازمة لتكون الضبخان في المدن الحديثة. وتشمل هذه ضوء الشمس، والهايدروكربونات، وأكاسيد النتروجين، والمواد الحبيبية التي تعمل كعوامل حفازة.

في حالات نادرة، يدخل أوزون الطبقة العليا من الغلاف الجوي (الأوزون الجيد) الى الطبقة السفلى من الغلاف الجوي (التروبوسفير). تحدث هذه الظاهرة عادة في حالة حدوث إضطراب عظيم في الطبقة العليا من الغلاف الجوي. في حالات التداخل النادرة هذه، يصل أوزون الغلاف الجوي للمستوى الأرضي لفترة قصيرة من الزمن. يتكون معظم الأوزون الموجود في التروبوسفير ويستهلك بواسطة التفاعلات الكيميائية الضوئية الذاتية، التي تحدث نتيجة للتفاعلات بين الهايدروكربونات، وأكاسيد النتروجين، وضوء الشمس، الشيئ الذي ينتج ضبخاناً مثل ذلك النوع الموجود في لوس أنجليس.

وبأبسط التعبيرات يمكننا أن نعبر عن تكون الضبخان الكيميائي الضوئي كما يلي:

هايدروكربونات+ أكاسيد نيتروجين+ ضوء الشمس = ضبخان كيميائي ضوئي

نقطة مثيرة للإهتمام: في 9 ديسمبر، 1952 تكونت ظروف ضبابية فوق لندن. ولأن درجات الحرارة كانت منخفضة جداً، أبقت معظم المنازل النيران مشتعلة، وكانت هذه النيران تستخدم الفحم كوقود أساسي. إمتزج الدخان المنبعث من هذه النيران مع الضباب الذي لم يكن قادراً على أن يتشتت، ونتج عن ذلك أن الضبخان ظل موجوداً لمدة أربعة أيام. بلغت قيمة الأس الهيدروجيني للهواء أثناء حدوث ضبخان لندن العظيم 1.6. وفي خلال هذه الفترة مات ما يزيد على 4,000 شخص زيادة على العدد المتوقع في هذا الوقت من العام. نتجت معظم هذه الوفيات الإضافية من إعتلالات الجهاز التنفسي.

على الرغم من أن تداخلات الستراتوسفير مع التروبوسفير يمكن أن تتسبب في تكوين الضبخان، يتضمن تكوين الضبخان من نوع لوس-أنجليس الحقيقي مجموعة معقدة من التفاعلات الكيميائية الضوئية. تحدث هذه التفاعلات بين الملوثات ذات المنشأ البشري (الهيدروكربونات وأوكسيد النتروجين) والمواد المنتجة بصورة ثانوية (نترات البيروكسي أستيل، والألدهيدات، والأوزون، وثاني أوكسيد النتروجين). تظهر تراكيز هذه المواد الكيميائية نسقاً نهارياً واضحاً، يعتمد على معدلات الإنبعاث، وشدة الإشعاع الشمسي، وثباتية الجو عند أزمان مختلفة من اليوم.

نقطة رئيسية: للضبخان من نوع لوس-أنجليس تاريخ طويل، يرجع الى ستينيات القرن التاسع عشر على أقل تقدير. ويتميز هذا الضبخان بتعتيم الرؤية، وبتهيج العيون، وتدهور المواد. وبحسب التَعريف، يتميز الضبخان برؤية تقل عن ثلاثة أميال وتهييج شديد للعين، ورطوبة نسبية تقل عن 60%. يتطلب تكون الضبخان الكيميائي الضوئي أشعة فوق بنفسجية، وهايدروكربونات، وأكاسيد نتروجين.

يعكس المدى الواسع من التقديرات درجة عدم اليقين في حسابات كميات الأوزون. في المتوسط، تمثل التداخلات في الستراتوسفير حوالي 18% من

فيض الأوزون الموجود في طبقة التروبوسفير، بينما يمثل الأوزون المنتج من التفاعلات الكيميائية الضوئية الإثنين وثمانين % المتبقية. يتم إستهلاك 31% من الأوزون في التروبوسفير بواسطة تفاعلات الأكسدة في الغطاء النباتي عند المستوى الأرضي، بينما تستهلك 69 % المتبقية بواسطة التفاعلات الكيميائية الضوئية التي تحدث في الغلاف الجوي (فريدمان 1989).

تأتي معظم الملوثات العضوية من المصادر الطبيعية. على سبيل المثال، تولد 87% من الميثان بواسطة البكتيريا اللاهوائية والحيوانات الأليفة. وتنتج 14% المتبقية من الأنشطة البشرية.

الميثان هو مصدر رئيسي للأوزون ولأول أوكسيد الكربون في التروبوسفير وبخار الماء في الستراتوسفير.

$$CH_4 + HO^* \Rightarrow H_3C^* + H_2O$$

تشمل المصادر الطبيعية الأخرى للهايدروكربونات في الغلاف الجوي النباتات ، التي تطلق الإيثلين، ومجموعات مختلفة من التربينات والإسترات.

الهايدروكربونات ذات المنشأ البشري، الناتجة من حرق الوقود الأحفوري، هي المجموعة الأكبر من ملوثات الهواء العضوية. تنتج هذه المجموعة الشائعة من الهيدروكربونات الملوثة للهواء بكميات تفوق 100,000,000 كيلوغرام/العام. تستخدم الهايدروكربونات الأروماتية على نطاق واسع في الصناعة وهي مكونات أساسية في الجازولين الخالي من الرصاص.

عادة ما تؤكسد الهايدروكربونات بواسطة الأشعة الضوئية الى ألدهيدات وكيتونات. كذلك تنتج مليارات الكيلوغرامات من مركبات الكاربونيل المهمة سنوياً. وتأتي الألدهيدات في المرتبة الثانية لثاني أوكسيد النيتروجين من حيث كونها مصدراً للجزور الحرة التي تنتج بوسيلة كيمائية ضوئية. كذلك تأتي العديد من الكحولات ضمن المركبات الخمسين الأولى المصنعة، وأكثر هذه المركبات تطايراً تعد من ضمن ملوثات الغلاف الجوي (الميثانول والإيثانول).

نقطة رئيسية: تزال الكحولات ذات الذوبانية المرتفعة في الماء و/او التطايرية المنخفضة بسرعة من الغلاف الجوي.

الفينول (كحول أروماتي) هو أيضاً واحد من المركبات الخمسين الأولى، كما أنه ناتج جانبي أيضاً لحرق الفحم. أيضاً، تم التُعرَّف إلى كحولات أروماتية أخرى بوصفها ملوثات للغلاف الجوي.

ومركبات الهالوجينات العضوية الثلاث الأكثر شيوعاً في الغلاف الجوي هي كلوريد الميثيل، وميثيل الكلوروفورم، ورباعي كلوريد الكربون. وقد تمت مُناقشة تدمير الأوزون بواسطة كلورات فلورات الكربون فيما سبق.

تشمل ملوثات النيتروجين العضوية:

- الأمينات (الرائحة!)
- ثنائي إيثيل الفورماميد
- أكريلونيترايل

يطلق دخان السجائر، والنباتات المحترقة، وأفران الفحم المركبات الحلقية المحتوية على نيتروجين الى الجو.

بيروكسي أسيتايل نيتريت، وبيروكسي أسيتايل نيتريت هما ملوثان عضويان مهمان ينتجان من الأكسدة الكيميائية الضوئية للهايدروكربونات.

الهايدروكربونات متعددة الأروماتية هي أسوأ المركبات العضوية الموجودة في الغلاف الجوي (تصل الى ما يقارب 20 ميكروغرام /م3). وتنتج هذه المركبات من الإحتراق غير المكتمل للوقود الإحفوري والسجائر (100 ميكروغرام/م3). عادة ما توجد هذه المركبات مدمصة الى الفحم.

تشمل الملوثات العضوية الثانوية المثيرة للمتاعب:

- الإيثر (الوقود الأحفوري، تي إتش إف)
- الأكاسيد (أوكسيد الإيثلين وأوكسيد البروبلين)
- الأحماض العضوية (الأكسدة الكيميائية الضوئية)

- مركبات الكبريت العضوية (الرائحة!)

وجد أن عينات الضبخان تحتوي على بيروكسي أستيل النيترات، والألدهيدات، والكيتونات، ونترات الألكيل، التي تنتج بصورة أساسية من الأكسدة الضوئية للهيدروكربونات. تحتوي عينات الهواء أيضاً على ملوثات غير عضوية مثل الأوزون وحمض النتريك.

نقطة رئيسية: الأمر المهم بخصوص ملوثات الهواء العضوية هو أنها: تساهم هذه المركبات في عدد من المشاكل الصحية والبيئية، وتشمل هذه الضبخان، ومشاكل التنفس، وإعتام الرؤية، والسمية للنباتات، وزيادة مخاطر الإصابة بالسرطان.

تشمل الخواص الكيميائية للهواء ما يلي:

- يتكون الهواء العادي من النيتروجين (79%)؛ الأوكسجين (20%)؛ والغبار (مادة صلبة)، والماء (صلب، وسائل، وغاز)، وثاني أوكسيد الكربون، وعناصر ضئيلة التركيز (1%).
- أقل طبقات الجو إرتفاعاً هي طبقة التروبوسفير.
- الأمطار الحمضية هي أمر طبيعي، الا أن الأنشطة البشرية زادت من تركيز الأحماض في هذه الأمطار بمقدار عشرة أضعاف الأحماض الموجودة في الأمطار الطبيعية.
- يبدو ثاني أوكسيد الكربون كملوث غير ضار في هوائنا.
- أول أوكسيد الكربون هو ملوث من صنع البشر وينتج من السيارات. وهو أيضاً غاز سام يمكن أن يتسبب في الموت.
- السيارات هي إحدى الملوثات الرئيسية للهواء. تطلق السيارات أول أوكسيد الكربون، وأكاسيد النيتروجين، والرصاص، والمواد المسرطنة الأخرى.
- الأصناف الرئيسية للأنواع الكيميائية الموجودة في الغلاف الجوي هي الأكاسيد الغير عضوية، والمؤكسدات، والمختزلات، والمواد العضوية،

والمركبات ذات النشاط الكيميائي الضوئي، والأحماض، والقواعد، والأملاح، والكيانات الكيميائية الفعالة غير المستقرة.

- الملوثات الغازية ذات التركيزات الأكبر في الغلاف الجوي هي أول أوكسيد الكربون، وثاني أوكسيد الكربون، NO و NO_2.
- هذه الكيانات المتفاعلة وغير الثابتة التي تصادفنا في الغلاف الجوي لها صلة وثيقة بالتفاعلات الكيميائية في الغلاف الجوي كما أنها مثارة إلكترونياً، الجزور الحرة والأيونات.
- يمكن للتفكيك الكيميائي الضوئي لثاني أوكسيد النيتروجين، أن ينتج ذرات الأوكسجين المتفاعلة التي يمكنها أن تتفاعل مع الجزيئات القابلة للأكسدة.
- يمكن للغلاف الجوي الكيميائي الضوئي الملوث بأكاسيد النيتروجين والهيدروكربونات أن يولد مركبات مؤكسدة قوية.
- أهم المؤكسدات غير العضوية الموجودة في الغلاف الجوي هي الأوزون.
- التفاعلان المنتجان للأوزون في الستراتوسفير هي:

$O_2 + h\upsilon \Rightarrow O + O$ و $O + O_2 M \Rightarrow O_3 + M$

- يمكن تقسيم تأثير الملوثات الموجودة في الغلاف الجوي الى تأثيرات مباشرة وتكوين الملوثات الثانوية، مثل تكوين الضبخان الكيميائي الضوئي.
- حقيقة أن معظم المركبات العضوية (الهايدروكربونات) الموجودة في الغلاف الجوي تأتي من المصادر الطبيعية هي إطلاق كميات كبيرة من الميثان.
- المركبات المحتوية على الفلور ذات المقدرة الأكبر على إلحاق الضرر بالبيئة هي كلورات فلورات الكربون.

كيمياء التربة Soil Chemistry

مشكلة التربة The soil problem

تلوث التربة هو مثار قلق ليس في الولايات المتحدة فحسب، بل في شتى أنحاء العالم.

للتلوث الصناعي، وإدارة مواقع الدعم الفائق، والإستكشاف والإنتاج، والتعدين والمماسات الصناعية النووية ، وغيرها، تأثير على التربة يظل عصياً على التقييم . والأمر اليقيني هو أن التربة الملوثة بالبترول تؤثر على العدد الأكبر من المواقع، وأنها تمثل الحجم الأكبر من المادة الملوثة. غير أن المقدار الكلي للتربة الملوثة قد يكون مذهلاً. على سبيل المثال في أوكلاهو ما تمثل التربة الملوثة حوالي 90% من النفايات المولدة نتيجة للأحداث التي تحدث لمرة واحدة. (Testa,1997).

ومع زيادة خوفنا على البيئة، يكون من المطمئن أن ندرك أن التربة، إذا ما استخدمت بصورة مناسبة، يمكن أن تكون لها مقدرة لا نهائية على التخلص من النفايات وإعادة تدويرها.

وبغض النظر عن أصلها، تتكون معظم الترابات من أربعة مكونات أساسية: المياه المعدنية، الماء، والهواء، والمادة العضوية. وببساطة، تمثل التربة الرابط بين المادة المعدنية والحياة.

ولكي نفهم "مشكلة التربة" التي تواجهنا في الوقت الحالي، فإننا سوف نصف بإيجاز بعض المشاكل البيئية التي تساهم في مشكلة البيئة. تشمل هذه المشاكل أحواض التخزين الجوفية، والمواقع الكيميائية، ومواقع حقول النفط، ومواقع الحرارة الجوفية الأرضية، ومنشأآت الغاز المصنع، ومواقع التعدين، والإرهاب البيئي.

أحواض التخزين الجوفية Underground storage tanks

عادة ما يرتبط التلوث البترولي بأحواض التخزين الجوفية. وتتراوح التقديرات

الحديثة بين 5–6 ملايين، إلا أنه لا أحد على يقين من عدد أحواض التخزين الجوفية الموجودة قيد الاستعمال في الولايات المتحدة، والتي تحتوي على مواد خطرة أو منتجات بترولية. وما يعقد هذه القضية أن لا أحد بمقدوره أن يخمن عدد أحواض التخزين الجوفية التي لم تعد مستعملة (أحواض التخزين الجوفية المهجورة). عادة ما تحتفظ هذه الأحواض المهجورة ببعض محتوياتها، والتي ترشح ببطء مفسدة الماء والأرض والهواء. وتمثل الأحواض التي لا ينتج عنها تسرب اليوم، إلا إنها، على الأرجح، سوف تبدأ فى التسرب فى نهاية المطاف مشكلة أخرى. غير أن هناك شيئاً واحداً مؤكداً، وهو أن التلوث البيئى من أحواض التخزين الجوفية المسربة يشكل تهديداً عظيماً لصحة البشر وللبيئة.

بالإضافة إلى مشكلة إفساد الأوساط البيئية (الماء، والتربة، والهواء) الواضحة، تشكل أحواض التخزين الجوفية المسربة هذه مخاطر إحتراق وإنفجار جدية. والمفارقة أن أحواض التخزين الجوفية تستخدم عادة كأحد معايير الوقاية من الحرائق والإنفجارات (وذلك بإفتراض أن الخطر قد تم دفنه تحت الأرض بعيداً عن العين، بعيداً عن الخاطر، بعيداً من طريق الخطر). إلا أنه وفى يومنا هذا تجد المخاطر التى "دفناها" لكي نحمي أنفسنا منها، طرقاً وأساليب من أجل تقديم نفسها لنا بوسائل مختلفة.

لا تتوقف مشكلة الخزانات المسربة عند إفساد البيئة (وخصوصاً المياه الجوفية، التى يعتمد عليها 51 % من سكان الولايات المتحدة كمصدر لمياه الشرب)، ومخاطر، الحريق والإنفجار.المنتجات التى تطلق من هذه الخزانات المسربة بمقدورها، أيضاً، أن تدمر خطوط نقل مياه الصرف الصحي، والكيبلات المدفونة، وبمقدورها كذلك أن تسمم محاصيلنا.

التلوث من المواقع الكيميائية Chemical sites

سجل مسح أجري في العام 1979 (يشار إليه عموماً كمسح إكهارت) لثلاثة وخمسين من أكبر شركات التصنيع في الولايات المتحدة وغطى الفترة ما بين

العام 1950 والعام 1979، أن ما يفوق 17 طناً من النفايات المولدة عضوياً قد تم التخلص منها. من هذا المجموع، لم يتم معالجة مايزيد على العشرة ملايين طن (ظلت موجودة في مكبات الأوساخ، والبرك، والبحيرات الضحلة، وفي آبار الحقن). وتم ترميد ما يقارب 0.5 مليون طن، وتم إعادة تدوير، أو إعادة استخدام 0.5 مليون طن تقريباً. لم يتناول هذا المسح حجم التربة الملوثة الناتجة عن الأحداث التي حدثت لمرة واحدة، والتي تميز أي نشاط معالجة (Testa،1997).

مواقع حقول النفط Oil field sites

أحد المصادر الأخرى لكميات ضخمة من الترابات المحتوية على الهايدروكربونات مرتبط بالإنتاج من حقول النفط السابقة والحالية. أوضحت التجربة أنه من السهل وصف مصير النفط في الترابات بصورة وصفية. على سبيل المثال، تتعرض منتجات البترول المتطايرة مثل الجازولين لفقدان كبير بواسطة التبخر؛ وتتعرض الألكانات العادية الى التفكك الحيوي السريع؛ والهيدروكربونات الأروماتية، خصوصاً ذات الأوزان الجزيئية المنخفضة منها لديها القابلية على الذوبان في الماء، ولذا يمكنها أن تتسبب في تلوث إمدادات المياه في المحليات. وعلى الرغم مما سبق، من الصعب جداً وصف هذه العمليات بصورة علمية، كمية، صارمة. وفي بعض الحالات كان من الممكن القول بأنه، على سبيل المثال، في فترة عام واحد تم فقدان نسبة معينة من كتلة معينة من إنسياب نفطي عن طريق التبخر، وفقدان نسبة أخرى بواسطة الذوبان، ونسبة أخرى بواسطة التفكك الحيوي، بينما يحول المتبقي بواسطة التحلل الضوئي. إلاّ أن هناك شيئاً مؤكداً، وهو أن حقول النفط، سواء في الماضي أو الحاضر، تساهم في كم التربة الملوثة المنتجة Eastcott, Shir, and Mackay، 1989).

مواقع الحرارة الجوفية Geothermal sites

تُعرَّف وزارة الطاقة في الولايات المتحدة طاقة الحرارة الجوفية بأنها الطاقة التي تنتج " عندما تسترجع الحرارة المحتواة في الأرض وتحول الى شغل مفيد". وطاقة الحرارة الجوفية هي مصدر شديد الفعالية لتسخين وتبريد المباني، وتجفيف المنتجات الزراعية، ومعالجة التسخين للصناعة (ريد 2002). وتستخدم مصادر الحرارة الجوفية ذات درجات الحرارة المرتفعة (التي تفوق 150 درجة مئوية) في توليد القوة. غير أنه وبحسب دائرة المعارف إنسايكلوبيديا بريتتانيكا، فإن إحدى أكبر المشاكل المتعلقة بالحرارة الجوفية هي كيفية إستخلاصها. ولكي يتحصل على القوة من الحرارة الجوية بفعالية، ينبغي أن تركز الطاقة الحرارية في مساحة صغيرة. ويمكن إنجاز هذه المهمة باستخدام مستودعات جوفية من الماء الساخن أو البخار يمكن تصريفها عبر حفر.

وأفضل استخدامات طاقة الحرارة الجوفية هو تسخيرها لتوليد الكهرباء. وفي منشآت طاقة الحرارة الجوفية، تحول المياه الساخنة الى بخار، يستخدم فيما بعد لكي يزود التوربينة بالطاقة. بعد ذلك تحول الطاقة الميكانيكية من التوربينة الى كهرباء بواسطة مولد. ومصدر آخر من مصادر الطاقة الحرارية الجوفية هو الصخور تحت السطحية الجافة.

نقطة رئيسية: لوزارة الطاقة في الولايات المتحدة موقع فني يشرح بتفاصيل ضافية نمو صناعة طاقة الحرارة الجوفية.www.eren.doe.gov/geothermal/

يشير مؤيدوا استخدام الحرارة الجوفية الى أن هذه الطاقة جافة ولا ترهق الأرض. وببساطة، طاقة الحرارة الجوفية هي طاقة مفيدة جداً وينتظرها مستقبل واعد. وهذه الطاقة نظيفة، وموثوقة، ومتوفرة،

إلا أن استخدام طاقة الحرارة الجوفية هو سيف ذو حدين. وعلى الرغم من أن مصادر الحرارة الجوفية تلغي تلوث الهواء المرتبط بتوليد الكهرباء المولدة من

عمليات الإحتراق، الا أنها لا تخلومن مشاكل. تتسبب الغازات الموجودة في البخار والمعادن المذابة في الماء الساخن في التآكل السريع للمعدات. كما أن تبريد المياه المالحة والتخلص منها ومن المياه الغنية بالمعادن الموجودة في النبع يمثل مشكلة أخرى. إضافة الى ما سبق تتظاهر بعض الأدلة على وجوب تعويض المياه الجوفية المستخدمة في المناطق التي تستخدم فيها طاقة الحرارة الجوفية من أجل منع حدوث الإنقلاب.

نقطة رئيسية: المحلول الملحي الناتج من الحرارة الجوفية هو مائع ممعدن يتكون من مياه مالحة دافئة أو ساخنة تحتوي على كالسيوم، وصوديوم، وبوتاسيوم، وكلوريد، ومقادير ضئيلة من العناصر الأخرى.

التلوث من منشآت الغاز المصنّع (Manufactured gas plants (MGPs

ظلت منشآت الغاز المصنع تعمل منذ نهاية تسعينيات القرن التاسع عشر، وتم إعادة تحديث العديد منها.

نقطة رئيسية: تقدر المسوحات الحديثة أن ما يصل الى 3000 من مواقع منشآت الغاز المصنع موجودة على إمتداد الولايات المتحدة.

تنتج منشآت الغاز المصنع مجموعة متنوعة من النفايات شديدة الخطورة، ويوجد معظم هذه النفايات في ما نطلق عليه اليوم قطران الفحم (ومنتجات النفايات المرتبطة به). وتشمل المواد السامة التي توجد في قطران الفحم:

- الهيدروكربونات الأروماتية–التي تتكون بصورة أساسية من الفينولات والكريسولات؛
- الهيدروكربونات الأروماتية أحادية الحلقة– التي تشمل البنزين، والتولوين، وايثيل بنزين، وزايلين.
- الهيدروكربونات الأروماتية ثنائية الحلقة–وتتكون بصورة أساسية من النافثالين والزيوت الخفيفة؛

- المركبات الأروماتية متعددة الحلقات– قطران الفحم والزيوت المتوسطة الى الثقيلة؛ و
- مركبات أخرى–الهيئات المركزة من المعادن التي تؤجد بكميات ضئيلة في الفحم، وتشمل هذه السيانيدات، والكبريت، وبعض المعادن الثقيلة (الزرنيخ، والكروم، والرصاص، الخ).

التلوث من مواقع التعدين Mining sites

تأثير رسوبيات التخزين وفضلات التعدين (من التعدين، والطحن، والصهر، والبواقي) على التربة معروف بدرجة أقل ، بسبب قلة الدراسات الجادة في هذا الموضوع. تشمل نفايات التعدين المعتادة ، الحمض المنتج من عمليات تعدين الإسبستوس، وطحنه، والسيانيد المنتج من عمليات ترشيح كومة المعادن النفيسة، وسوائل الرشح المنتجة خلال عملية ترشيح مقالب النحاس، والمعادن المتحصل عليها من عمليات التعدين والطحن، والنويدات المشعة (الراديوم) من عمليات تعدين اليورانيوم والفوسفات.

تجفيف ماء المعادن الحمضي هو أحد مصادر ملوثات التربة المعروف والموثق جيداً. تذكر أن تكوين الحمض يحدث عندما يتفاعل الأوكسجين من الهواء والماء، مع المعادن الحاملة للكبريت لكي يكون حمض الكبريتيك ومركبات الحديد. هذه المركبات قد تؤثر بصورة مباشرة على الحياة النباتية التي تمتصها، أو قد يكون لها تأثير غير مباشر على الغطاء النباتي لمنطقتها، عن طريق التأثير على معادن التربة والكائنات الحية المجهرية.

تتسبب النفايات الصلبة التي تمثل المنتجات الجانبية لعملية التعدين في مشاكل أخرى، إذ تكون المعادن ممتزجة دائماً مع المواد المزالة من المنجم. لهذه المواد قيمة تجارية ضئيلة، لذلك ينبغي التخلص منها في مكان ما. وأكوام الصخور والحطام ليست فقط منظراً لا يسر الناظرين وحسب، بل إنها معرضة أيضاً للتآكل، كذلك يطلق التسرب السموم البيئية في التربة وينتهي بها المطاف في

المياه السطحية والجوفية.

التلوث من الإرهاب البيئي Environmental terrorism

قبل العام 1991 (حرب الخليج) وأحداث الحادي عشر من سبتمبر/أيلول، كان هناك القليل من القلق لدى العامة بشأن إمكانية حدوث إرهاب بيئي على مستوى إقليمي. وبالتأكيد أثبتت حرب الخليج وأحداث الحادي عشر من سبتمبر/أيلول ذلك. ويمكن للدمار الذي يتسبب فيه التدمير المتعمد للبنى التحتية الحضرية، ولآبار النفط ومصافيه، أوللمواقع الكيميائية أن يتسبب في حدوث تلوث للتربة بمستوى كارثي، كما يمكن له بالطبع أن يؤثر على الهواء وعلى الماء.

الخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة Physical and chemical properties of soil

من وجهة نظر علم البيئة (وفيما يخص الحفاظ على الأراضي وأساليب معالجة التربة عبر إعادة الاستخدام وإعادة التدوير) توجد 10 خواص كيميائية/فيزيائية للتربة ذات أهمية.

المقدرة على مبادلة الكاتيونات Cation exchange capacity (CEC)

المقدرة على مبادلة الكاتيونات هي مقدرة التربة على الإحتفاظ بالكاتيونات. وبصورة أكثر تحديداً، تُعرَّف المقدرة على مبادلة الكاتيونات على أنها مجموع الشحنات الموجبة للكاتيونات المدمصة التي يمكن للتربة أن تدمصها عند قيم محددة للأس الهيدروجيني. تتكون جسيمات التربة من السيليكات وسيليكات الألمونيوم. وهذه الجسيمات هي مواد غروية ذات شحنات سالبة. والكاتيون هو الجسيم المشحون بشحنة موجبة، على سبيل المثال H^+، Ca^{2+}، Mg^{2+}، K^+، NH_4^+، Na^+ كلها كاتيونات.

نقطة رئيسية: يعبر عن المقدرة على مبادلة الكاتيونات في شكل مكافئ/100

جم من التربة.

يورد الجدول 13.3 قيم المقدرة على مبادلة الكاتيونات لأنواع التربة.

سوف تحل الكاتيونات ذات الكثافة الشحنات الأكبر (الكاتيونات الأصغر) محل الكاتيونات الأكبر. على سبيل المثال، يحل H^{+} محل Ca^{2+}؛ بينما يحل Ca^{2+}محل Mg^{2+}

وحينما ينجذب أيون في الطور المائي الى سطح التربة، فإنه لا بد له أن يحل محل كاتيون آخر (موجود سلفاً). على سبيل المثال، يحدث التفاعل التالي في التربة:

$$Mg + Cu^{2+} = Cu + Mg^{2+}$$

تنتج التفاعلات الكيميائية البروتونات، عندما تتفكك المادة العضوية الموجودة في التربة. وكذلك تتنفس البكتيريا الموجودة في التربة والتي تتسبب في تفكك البروتونات . ومع إرتفاع مستوى البروتونات، تحل هذه محل الأيونات الأخرى المرتبطة بسطح جسيمات التربة، وتصبح هذه الأيونات (المزاحة) متوفرة لكي يتم إمتصاصها بواسطة جذور النباتات.

نقطة رئيسية: لم تنتج كل الكاتيونات متساوية.

الأس الهيدروجيني pH

تذكر أن الأس الهيدروجيني هو اللوغاريثم السالب لنشاط أيونات الهيدروجين. كما أن الأس الهيدروجيني للتربة هو واحد من أهم الخواص ذات الصلة بنموالنباتات.

الجدول 13.3 قيم سعة المبادل الكتيوني عبر نوع التربة

نوع التربة	عدد المكافئات/100 غرام من التربة
تربة رملية	4-2
تربة خصبة	16-7
تربة طينية	60-4
تربة عضوية	300-50

الكائنات الحية كلها حساسة للأس الهيدروجيني. ولا تستطيع جزور النباتات القيام بوظائفها بصورة جيدة في الترابات ذات قيم الأس الهيدروجيني التي لا تلائم نوع النبات المحدد. وإذا ما كانت قيمة الأس الهيدروجينية متطرفة (من ناحية الحمضية والقاعدية)، فإن النبات سوف يموت. والكائنات الحية المجهرية الموجودة في التربة المحيطة بجزور النباتات (والتي تختلف أنواعاً، وأعداداً، وأنشطة الكائنات الحية التي توجد فيها من تلك التي تخص الكائنات التي تعيش في باقي أجزاء التربة) حساسة هي الأخرى لقيم الأس الهيدروجيني.

نقطة رئيسية: للتربات القلوية قيم أس هيدروجيني تتراوح ما بين 7.5–8.5، بينما تتراوح قيم الأس الهيدروجيني للتربات الحمضية ما بين 4–6.5. يسهل رشح المكونات القلوية من التربات.

يمكن تعديل قيم الأس الهيدروجيني للتربة بعدة طرق. سوف تخفض المادة العضوية من قيم الأس الهيدروجيني (زيادة الحمضية). ويمكن أن تضاف الصودا الكاوية من أجل زيادة الأس الهيدروجيني (زيادة القلوية). وتوفر بعض المخصبات على هيئة محاليل حمضية أو قاعدية، ويمكن لهذه المخصبات أن تغير من قيم الأس الهيدروجيني. الا أن للتربات سعة تنظيم للأس الهيدروجيني– داخل المدى الطبيعي لقيم الأس الهيدروجيني، يمكن للتربات أن تمتص الكثير من البروتونات والكثير من أيونات الهيدروكسيل قبل أن يتغير الأس الهيدروجيني لمياه التربة. الا أنه ما أن تصل التربة الى حدود سعتها التنظيمية، حتى يتحول الأس الهيدروجيني لمياه التربة بسرعة الى قيم متطرفة سامة. وحينها يحتاج الى الكثير من سعة التنظيم لإعادة قيم الأس الهيدروجيني للتربة الى ما كانت عليه.

الملوحة Salinity

الترابات المالحة هي تلك الترابات التي يوجد بها الكثير من الأملاح الذائبة. بينما الترابات الغنية بالصوديوم هي الترابات غير المالحة التي تحتوي على كميات كافية من الصوديوم الذي تمكن مبادلته والذي يضر بصورة بالغة بإنتاج المحاصيل وببنية التربة تحت معظم الظروف التي توجد بها التربة وبمعظم أنواع النباتات. تتراكم الأملاح بصورة طبيعية في بعض الترابات السطحية في المناطق الجافة وشبه الجافة بسبب عدم وجود الأمطار التي يمكن أن تغسل هذه الأملاح من الطبقات العليا للتربة. وهذه الأملاح هي بصورة أساسية كلوريدات، وكبريتات الكالسيوم، والمغنيزيوم، والصوديوم، والبوتاسيوم. وقد تتكون هذه الأملاح أثناء عملية تجوية الصخور والمعادن أو تجلب الى الترابات أثناء هطول الأمطار أو بواسطة الري. يعبر عن مجموع تراكيز الأملاح في التربة (او الملوحة) بالتوصيلية الكهربية للماء، الذي يمكن تحديدها بدقة.

اللون Color

يلاحظ كل شخص، ينظر الى التربة، تقريباً أن لون التربة عادة ما يختلف من مكان إلى آخر. وتتراوح ألوان التربة ما بين تلك البراقة الى الباهتة الى مدى واسع من الألوان الحمراء، والبنية، والسوداء، والبيضاء، والصفراء، وحتى الخضراء. يعتمد لون التربة بصورة أساسية على كميات الدبال والأشكال الكيميائية من أكاسيد الحديد الموجودة.

يستخدم علماء التربة مجموعة من جداول الألوان العيارية (كتاب منسل للألوان) لوصف ألوان التربة. ويمزج علماء التربة ثلاثة من خواص ألوان التربة–درجة اللون، وقيمته، ولمعانه–مع بعضها البعض لكي يبتكروا عدداً كبيراً من شرائح الألوان لكي يستخدموها في مقارنة ألوان التربة التي يستقصونها.

ويمكن أن يعطي لون التربة مؤشرات على صحتها، وأصلها، وتأثيراتها طويلة المدى. يدل لون التربة كذلك على لون المادة الأم. كما يمثل لون التربة التحتية

مؤشراً قيماً على جودة تصريف التربة، وهي العامل الذي يتأثر بالطوبوغرافيا.

عادة ما تدل الألوان الداكنة للتربة الفوقية على إحتواء التربة على كميات كبيرة من المواد العضوية. ويمكننا أن نرى هذا دائماً في الأراضي المعشبة للسهول العظمى للولايات المتحدة.

وبصورة عامة، كلما زادت كمية الدبال، أصبح لون التربة أغمق. وقد تعني زيادة كمية الدبال كذلك أن التربة الأم التي تكونت منها التربة الحالية كانت سوداء اللون بدورها.

نقطة رئيسية: تدل الألوان الحمراء والصفراء المميزة في العادة على أن الترابات قديمة كما أنها تعرضت لدرجة أكبر من التجوية.

قوام التربة texture ، هو النسب النسبية للمكونات المختلفة للتربة، وهو أمر معطى، ولا يمكن بسهولة، أو بصورة عملية أن يغير بأي صورة جوهرية. يحدد هذا القوام بحجم جسيمات الصخور (الرمل، والغرين، وجسيمات الطين)، أو الوحدات الأخرى الموجودة داخل التربة (الجسيمات المعدنية التي يقل حجمها عن 2 ملم، وهي أصغر من الحصى) . أكبر جسيمات التربة هي الحصى، والذي يتكون من شظايا ذات قطر يزيد على 2 ملم.

تصنف الجسيمات ما بين 0.02 إلى 2.0 ملم كرمل. بينما تتراوح أقطار جسيمات الغرين مابين 0.002 إلى 0.002 ملم. وأصغر الجسيمات (جسيمات الطين) يكون قطرها أصغر من 0.002 ملم. على الرغم من أن الطين مكون من أصغر الجسيمات، إلا أن هذه الجسيمات لها روابط أقوى من تلك الموجودة في الغرين أو الرمل، إلا أن هذه الجسيمات الطينية تتآكل بسرعة ما أن تنفصل عن بعضها البعض. لحجم الجسيم تأثير مباشر على قابلية التآكل. نادراً ما تتكون التربة من حجم واحد من الجسيمات، ومعظمها خليط من أحجام متعددة.

وكما ذكرنا سابقاً، يقصد بقوام التربة النسب النسبية للرمل، والغرين، وجسيمات

الطين الموجودة في التربة. تأخذ الترابات أسماء قوامها (التي يوجد 12 منها، ثمانية منها مذكورة أدناه) وبعض الخواص الفيزيائية المعينة من ثلاثة من أحجام الجسيمات. لاحظ أن محتوى الدبال، من ناحية فنية، لا يؤثر على القوام بأي شكل من الأشكال.

- رمل طفالي–85% رمل، 10% غرين، و5% طين.
- طفل رملي–72% رمل، 15% غرين، و13% طين.
- طفل–46% رمل، 36% غرين، و18% طين.
- غرين طفالي–25% رمل، 60% غرين، و15% طين.
- طفل طيني رملي–65% رمل، 9% غرين، و26% طين.
- طفل طيني–36% رمل، 32% غرين، و32% طين.
- طين رملي–55% رمل، 5% غرين، و40% طين.
- طين–17% رمل، 17% غرين، 66% طين..+

نقطة رئيسية: تشمل الأنواع الأخرى من التربة الرمل، والغرين، وطفل الطين الغريني، والطين الطفلي. ولقوام التربة تأثير كبير على إنتاجيتها وعلى إحتياجاتها الإدارية، لأنه يؤثر على بنية التربة، ومقدرتها على حجز الماء، وتصريفها، وقابليتها للتجريف، وخصوبتها. يختلف القوام في العادة بإختلاف العمق، كما أن التربة التحتية عادة ما تكون طينية بدرجة أكبر من طينية التربة الفوقية.

لا ينبغي الخلط بين بنية التربة وبين قوام التربة– هذان أمران مختلفان. في الواقع، وفي الحقل، قد تعدل الخواص التي يحددها قوام التربة بصورة كبيرة بواسطة بنية التربة. يقصد ببنية التربة الطريقة التي تتجمع فيها جسيمات التربة الأولية في بنى ثانوية (وحدات بنية التربة)–كذلك يقصد ببنية التربة الطريقة التي تتجمع بها جسيمات التربة المتعددة سوية. حجم، وشكل، وإنتظام عناقيد جسيمات التربة التي تسمى بالمجاميع (Aggregates) تكون كتلاً أكبر تسمى وحدات بنية التربة (Peds). جسيمات الرمل لا تتجمع سوية– إذ تفتقد التربة الرملية إلى البنية . تميل التربة الطينية للإلتصاق سوية في شكل كتل ضخمة.

تطور التربة الجيدة كتلاً صغيرة هشة (Friable) (تتفتت بسهولة). تطور التربة بيئة فريدة، ذات بنية ثابته إلى حد كبير في المناظر الأرضية الهادئة. إلا أن الممارسات الزراعية تكسر التجمعات ووحدات بنية التربة وتقلل من مقاومتها للتجريف.

نقطة رئيسية: التربة ذات البنية الجيدة يسهل حرثها، وتأخذ المياه بسهولة حينما تكون جافة.

وجود البقايا المفككة والمفتته للنباتات والحيوانات (المادة العضوية Organic Matter) في التربة لا يساعد في الخصوبة وحدها، بل يساعد بنية التربة كذلك، وبالأخص مقدرتها على تخزين الماء. الكائنات الحية (البروتوزا، والديدان الخيطية، والديدان الأرضية، والحشرات، والفطريات، والبكتيريا، هم السكان المعتادون للتربة. تعمل هذه الكائنات الحية إما من أجل التحكم في أعداد الكائنات الحية في التربة، أو من أجل المساعدة في إعادة تدوير المادة العضوية الميتة. تطلق كل الكائنات الحية في التربة، بطريقة أو بأخرى، المغذيات من المادة العضوية، محولة المواد العضوية المعقدة إلى منتجات يمكن استخدامها من قبل النباتات.

نقطة رئيسية: تشمل العوامل التي تؤثر على بنية التربة القوام، والمادة العضوية، ومحتواها من الرطوبة. لذا تختلف بنية التربة بدرجة كبيرة مع إختلاف محتوى الرطوبة، ومقدار الدبال الموجود، والضغط، خصوصاً للتربات الطينية. يمكن أن يحسن من بنية التربة، وهذا هو السبب الذي من أجله يحرث المزارعون حقولهم لكي يكسروا كتل التراب، ويضيفوا روث الحيوانات الى الحقول حينما يمكنهم ذلك.

المقدرة على حجز الماء Water holding capacity

نصف حجم التربة هو عبارة عن فراغ مسامي تحتله كميات متباينة من الماء ومن الهواء، تعتمد على درجة إبتلال التربة. يحتجز الماء في فراغات المسامات في هيئة طبقة رقيقة تلتصق على جسيمات التربة. تدعى المسامات الصغيرة بالمسامات الميكروية، بينما تدعى المسامات الكبيرة بالمسامات

الماكروية.

لا تحتجز المسامات الكبيرة الماء لأن طبقة الماء لا تلتصق بصورة جيدة بجسيمات الرمل المحيطة. ويفقد هذا الماء الذي يتسرب الى أسفل في إتجاه منطقة الجزور بفعل الجاذبية. لذا تسمح المسامات الكبيرة للتربة بإحتجاز كمية هواء كافية لنموالنباتات، ما لم تتم إعاقة عملية التصريف.

غير أن طبقة الماء الموجودة في المسامات الصغيرة، تقاوم عملية التصريف بفعل الجاذبية، كما أنها مسؤولة عن مقدرة التربة على إحتجاز المياه. وهذا الماء هو الذي تصل إليه الجزور وتستخلصه من أجل نمو النباتات.

نقطة رئيسية: كما يمكنك أن تخمن، للرمال الكثير من المسامات الكبيرة بسبب الأحجام الكبيرة لحبيباتها، كما أن فيها القليل من المسامات الصغيرة. لذلك، تعد مقدرة الرمل على احتجاز المياه منخفضة على الرغم من جودة تصريفها. والتربات شديدة الطينية التي تحتوي على الكثير من المسامات الصغيرة قد تكون لها مقدرة كبيرة على إحتجاز المياه، إلا أن تصريفها رديئ بسبب قلة المسامات الكبيرة فيها. وتحبذ النباتات التربة التي تقع في الوسط بين هذين الطرفين بحيث تحصل جزورها على الهواء والماء الذي تحتاجه.

التصريف Drainage

يقصد بالتصريف مقدرة التربة على التخلص من الماء الفائض، أو الماء الذي يوجد في المسامات الكبيرة، عبر الحركة التحتانية بفعل الجاذبية. تؤثر الطوبوغرافيا، والقوام، والتركيب، والعمق، ووجود الطبقات المضغوطة في التربة التحتية على التصريف. ورغم وجود بعض الإستثناءات (محاصيل الأرز على سبيل المثال)، تحتاج النباتات الى تجفيف جيد. ومن دون حدوث تصريف جيد، تفتقر النباتات الى الأوكسجين، ويفقد النيتروجين، كما قد تصبح بعض العناصر مثل الحديد والمنغنيز ذائبة الى درجة تمكنها من إلحاق الضرر بجزور النباتات. وعلى الرغم من أنه من المرجح أن تعاني التربة الطينية من مشاكل التصريف بدرجة أكبر، إلاّ أن التربة الرملية لها، هي الأخرى، مشاكل تصريف بسبب قرب مستوى المياه الجوفية فيها من السطح. ومستوى المياه

الجوفية هو السطح العلوي للمياه الجوفية التي تكون التربة الموجودة أسفله مشبعة تماماً بالماء.

نقطة رئيسية: يمكن أن يتأثر لون التربة بواسطة التصريف. ويمكن للون التربة أن يكون أداة للكشف عما إذا كانت لتربة معينة مشاكل تصريف. على سبيل المثال، وبصورة عامة، تدل الترابات التحتية الحمراء، أو البنية المحمرة، أو الصفراء على وجود تصريف جيد. يسمح وجود كميات كافية من الهواء للحديد والمنغنيز الموجودين في التربة أن يتأكسدا أو يكونا "الصدأ" الذي يتسبب في تكوين هذه الألوان البراقة. ومن ناحية أخرى، تدل الترابات الرمادية والزرقاء الباهتة على حالة مختزلة يندر فيها وجود الأوكسجين، الشيئ الذي يعني وجود سوء تصريف.

العمق Depth

يقصد بعمق التربة مقدار عمق التربة الفوقية والتربة التحتية. يمكن تحديد العمق بسهولة بواسطة حفر حفرة. وتصنف الترابات على أنها عميقة أو ضحلة (إنظر الجدول 14.3)

نقطة رئيسية: عمق التربة مهم للنباتات بسبب وجود الجزور العميقة يعني المزيد من التربة التي يمكن إستكشافها بحثاً عن المغذيات والماء. يعني وجود أعماق أكبر من التربة حدوث تصريف أفضل ما لم توجد طبقات حاجزة في التربة التحتية.

الجدول14.3 تصنيف عمق التربة

العمق(التربة السطحية+ التربة التحتية)	
تربة عميقة	3’
تربة شبه عميقة	20”-3’
تربة ضحلة	10”-20”
تربة ضحلة جداً	<10”

الميل Slope

للميل(Slope) (أو إنحدار طبقة التربة) تأثير مهم على الجريان المائي وعلى

تجريف التربة الذي تتسبب فيه المياه الجارية. عادة ما يقاس الميل في هيئة نسب مئوية. وعندما نقول إن مقدار الميل يساوي 10% فإن هذا يعني وجود إنخفاض رأسي بمقدار عشرة أقدام لكل 100 قدم أفقية. ويصبح من الضروري تطبيق معايير الحفاظ على التربة التي تتراوح قيم ميلها ما بين 1–2% من أجل تفادي مشاكل التجريف.

مصير التربة التحت سطحية ونقلها Surface fate and transport

من المهم فهم آليات نقل التربة وتأثيرها على الملوثات. وحينما يحدث إنسكاب أو تسريب كيميائي، أو عندما تفرغ الملوثات بصورة مقصودة أو غير مقصودة في التربة، فإننا نحتاج أن نسأل: ما الذي يحدث لهذه الملوثات؟ والإجابة عن هذا السؤال معقدة ومبنية على التفاعلات التي تحدث ما بين المواد الكيميائية والصخور، والتربة، وماء التربة (Spellman, 1999).

في ما يلي نتُعرَّف إلى، ونشرح خواص الملوثات المهمة من ناحية هجرتها، واعاقتها، وتحويلها– ومن ناحية المصير النهائي للملوثات في التربة.

1. **ضغط البخار أو التطايرية**– ضغط البخار هو خاصية تحدد مدى سهولة تبخر الملوث؛ وكلما كان الضغط البخاري منخفضاً تبخر الملوث بسهولة أكثر. والتطايرية هي ميل ملوث صلب أو سائل لأن يعبر الى الحالة البخارية؛ أو السرعة واليسر الذي يتبخر بهما ملوث سائل أو صلب عند درجات الحرارة العادية حينما يتعرض للهواء.
2. **قابلية الإمتزاج مع مياه التربة ومع المياه الجوفية**–مدى جودة إمتزاج ملوث سائل وبقائه ممتزجاً مع الماء الذي يوجد في الظروف العادية.
3. **الذوبان في ماء التربة والمياه الجوفية**–مقدرة ملوث ماء على الإمتزاج مع الماء الموجود في الظروف العادية.

4. **الكثافة والجاذبية النوعية**–الكثافة: نسبة وزن حجم ملوث سائل أو صلب الى وزن حجم مساوٍ له من الماء. تساوي الجاذبية النوعية للماء 1.0–تطفوالملوثات التي تقل جاذبيتها النوعية عن 1.0، بينما تغوص تلك التي تفوق جاذبيتها 1.0.
5. اللزوجة الديناميكية–المقاومة الداخلية لملوث غازي أو سائل أثناء حركته.
6. الفعالية–درجة مقدرة ملوث ما على الإتحاد الكيميائي مع مادة أخرى.
7. قابلية التفكك الحيوي–مدى سهولة تفكك الملوثات الى عناصرها الأساسية.

بالإضافة الى الخواص المختلفة للملوث التي تؤثر على مصير الملوثات أثناء دخولها الى التربة بطريقة ما، تكون خواص بيئة التربة التي يفرغ فيها الملوث مهمة هي الأخرى وينبغي أن تحدد، خصوصاً في أنشطة المعالجة. تشمل الخواص المهمة ذات الصلة بمصير الملوثات في التربة:

- مقدرة إختراق التربة؛
- محتوى التربة الطبيعي من المادة العضوية؛
- التوصيلية الهيدروليكية المشبعة وغير المشبعة للتربة؛
- الإنفاذية الفعالة للملوثات غير الممتزجة، ولماء التربة؛
- المعادن الموجودة في التربة
- محتوى التربة من الأكسجين
- المجتمعات البكتيرية في التربة.

تعمل عدد من العمليات على التحكم في معدل ومدى هجرة التلوث في التربة. تحتجز هذه العمليات الطبيعية الملوث، أو تؤخر إنتشاره، أو تتسبب في تفكيك الملوثات أو في تغيير كيميائها الى حالة أقل خطورة.

تشمل العمليات التي تعوق حركة الملوثات في التربة الإدمصاص، وتبادل

الأيونات، والترسيب الكيميائي، والتفكيك الحيوي.

- **الإدمصاص (adsorption)**– العملية التي تتجذب بها مادة ما وتلتصق على سطح مادة أخرى من دون أن تخترق البنية الداخلية لهذه المادة. في التربة، يعمل الإدمصاص على ربط الملوث على سطح جسيم التربة بطريقة تحد وتبطئ من إنتشار هذه المادة. يميل الطين والمواد ذات المحتوى العضوي المرتفع لإدمصاص مبيدات الآفات بدلاً من إمتصاصها. يحدث إمتصاص الملوثات على أسطح المواد المعدنية حيث تتسبب الفجوات الموجودة في البنية البلورية في إحداث خلل في توازن الشحنات الموجودة على الأسطح المعدنية. تجذب جزيئات الملوثات الذائبة الى الأسطح المعدنية ذات الشحنات المعاكسة.
- **الإتزان الأيوني (ion balance)**– وهو خطوة أخرى في عملية الإدمصاص، تحل فيها الملوثات الذائبة محل مواد كيميائية ممتصة سلفاً على سطح المعادن.
- **ترسيب الملوث** pollutant precipitation– العملية التي تزال (تنقل) بها الملوثات الذائبة من ماء التربة الى المياه الجوفية بواسطة تفاعلات الترسيب المختلفة. يستخدم الترسيب الكيميائي أيضاً كتقنية لمعالجة التلوث حيث يتم ترسيب الملوث من التيار المتلوث.
- **التفكيك الحيوي (biodegradation)**– تفكيك المركبات العضوية ومركبات الملوثات بواسطة نشاط الكائنات الحية المجهرية؛ يؤثر التفكيك الحيوي على توزيع، وحركة، وتركيز الملوثات في التربة.

يعتمد مصير بعض الملوثات التي تستخدم على سطح التربة أو تدخل الى داخل التربة على إتحاد معقد من العمليات المتفاعلة. تعتمد فعالية هذه العمليات المتفاعلة على عدة ظروف متباينة–طبيعة الملوث، الطريقة التي يستخدم بها، والطبيعة الأساسية للتربة، وحالتها المؤقتة في الزمان والمكان الذي

يعنينا.

إضافة الى الخواص المتعددة للملوثات ولبيئة التربة التي تؤثر على حركة الملوثات، وإعاقتها، وتحويلها الى ملوثات متحركة في التربة، تؤثر بعض خواص التربة وظروفها على نظام الإنسياب. تشمل هذه الخواص والظروف ((Kostecki and Calabrese، 1989):

1. قوام التربة–تكون حركة الملوثات في التربة الخشنة (رملية وحصوية) أسرع منها في الترابات الدقيقة (الطينية أو الغرينية)، كما أن احتمالية إحتجاز الترابات الدقيقة للملوثات ومنع حركتها أكبر من إحتمالية إحتجاز الملوثات ومنع حركتها بواسطة الترابات الخشنة.
2. الترابات المتُطَبقة (ذات التباين الأفقي)– لها مقدرة أكبر على إعاقة حركة الملوثات عند مقارنتها بالترابات ذات التجانس الأفقي.
3. أشكال طبقات التربة–يؤثر كون طبقات التربة أفقية، أو مائلة، أو منحدرة على نظام الإنسياب. على سبيل المثال، إذا وجدت طبقات أفقية ذات إنحناءات مقعرة، فإن هناك إحتمالية كبيرة لإعاقة إنسياب الملوثات. وفي الطبقات المائلة أو المنحدرة قد لا تكون أنظمة إنسياب الملوثات أسهل فحسب، بل إنها قد توجه (على سبيل المثال) ناحية بئر أو ناحية المياه الجوفية.
4. عمق مستوى المياه الجوفية– وكما هو واضح، إذا كان عمق مستوى المياه الجوفية متطرفاً، فإن هذا يؤثر على إنتقال الملوثات عبر كامل المسافة داخل التربة الى مستوى المياه الجوفية، إعتماداً على درجة إعاقة التربة.
5. بنية التربة–الشقوق الطبيعية، والتصدعات، والقنوات الموجودة في التربة هي إعتبارات مهمة في التعرف إلى مسارات التربة التي تسمح بهجرة الملوثات عبر الترابات.

6. الإنسياب غير الثابت–لا تنساب الملوثات بسرعة عبر الشقوق والتصدعات فحسب، بل إن لها كذلك ميل للتركز في الجداول ذات الشكل الشبيه باللسان (أصابع)، وتبدأ هذه عند الإنتقال من الطبقات الناعمة الى الطبقات الخشنة، متجاوزة بذلك الحجم الأكبر من مادة التربة، ويسمح هذا بنقل الملوثات الى مستوى المياه الجوفية.
7. رطوبة التربة–لها تأثير جلي على نسق الملوثات العضوية وانتقالها في التربة.

منشأ ملوثات التربة Origin of Soil pollutants

تلوث كل المجتمعات البشرية، الى درجة ما، التربة والمياه الجوفية. على إمتداد تاريخ الحضارة إحتاج البشر الى تطوير طرق للتعرف على تلوث المياه السطحية أو يواجَهوا بالمرض والموت من المياه الملوثة. وهذه المياه الملوثة يسهل تمييزها كما أنها تتسبب في مشاكل آنية وكبيرة. غير أن تلوث التربة والبيئة الجوفية ظل غير ملاحظ حتى العقود الأخيرة، بسبب مواقعه التي لا ترى وبسبب ضعف تأثيره الظاهري. يعني تاريخ التصنيع والمدى العريض من المواد الخطرة والمواد الكيميائية الأخرى التي أدخلت إما قصداً، أو عن طريق الصدفة في البيئة أن الأمم الصناعية هي الأكثر تأثراً بملوثات التربة الباقية.

نقطة رئيسية: ظل تلوث التربة والبيئة الجوفية غير ملاحظ في الواقع حتى العقود الأخيرة بسبب مواقعه غير المرئية وتأثيرها الضعيف.

نحن، ببساطة، لم نفهم فعالية عمل الآليات التي تحمل بها الملوثات عبر التربة، أو الضرر الذي قد تسببه لوسط التربة وللمياه الجوفية تحت السطح "الواقي".

عدد الأنشطة البشرية التي تسبب التلوث الجوفي أكبر بكثير مما كان يمكن لكثير من علماء البيئة أن يخمنوه منذ عدة أعوام خلت. نناقش. تشمل مشاكل

جودة التربة التي تنشأ من السطح الترسبات الجوية الطبيعية للملوثات الغازية والجسيمات المنقولة بواسطة الهواء، ورشيح المياه السطحية الملوثة، والتخلص من مواد النفايات الصلبة والسائلة برميها على الأرض، وأكوام التخزين، والخبث، والأنقاض، ومقالب النفايات، ونشر الملح على الطرقات، ومعالف الحيوانات، والمخصبات ومبيدات الآفات، والإنسكابات العرضية، وعملية إنتاج الأسمدة من الأوراق وفضلات الباحة الأخرى .

هناك مصادر أخرى من تلوث التربة ترتبط بالمنتجات البترولية. تشمل هذه المصادر الأخرى التخلص المباشر من الزيوت على الأرض من قبل الأفراد والصناعات، التسرب من مقالب النفايات، ومقالب النفايات غير القانونية، والحفر غير المبطنة، والبرك، والبحيرات الضحلة، والإنسكابات من حوادث النقل. حتى حوادث السيارات تساهم في عبء التربة (Tucker ,1989)

الملوثات الغازية والمنقولة بالهواء Gaseous and airborne particulate pollutants

ملاحظة: تركز المُناقشة الآتية على التلوث الذي ينشأ من أسطح الأرض. غير أنه ينبغي أن نلاحظ أن تلوث التربة والطبقة تحت السطحية قد ينشأ من الطبقة التحت الأرضية (من المنطقة فوق مستوى المياه الجوفية) من أحواض التصريف، ومكبات النفايات، والبرك، والجدران الجافة، وباحات المقابر، وأحواض التخزين الجوفية، وتسريبات الأنابيب الجوفية، والمصادر الأخرى. إضافة الى ما سبق يمكن أن ينشأ تلوث المياه الجوفية والتربة، والطبقة تحت السطحية من مصادر توجد أسفل مستوى المياه الجوفية مثل المناجم، وحفر الاختبار، وآبار وقنوات التجفيف الزراعي، وغيرها. تقوم التربة بدور بارز في الدورات الحيوية الجيولوجية الكيميائية– دورات الكربون، والنتروجين، والكبريت. لا تمثل التربة جزءاً مهماً من الدورات الطبيعية للكربون، والنتروجين، والكبريت وحسب، بل لها، إضافة إلى ما سبق، وجه بيني قوي ومهم مع الجو. ضع في

الإعتبار دورة النتروجين، حيث تمتص جزور النباتات والكائنات الحية الدقيقة في التربة النترات وأيونات الأمونيوم من ماء الأمطار وتحوله إلى أحماض أمينية أو إلى غاز N_2 وغاز N_2O ، اللذان يعاودان الإنتشار في الجو. يوازن أخذ N_2 وتحويله إلى أحماض أمينية تثبيت النتروجين بواسطة الكائنات الحية التكاملية وحرة المعيشة في التربة غاز النتروجين هذا وحده. غازات NO و NO2 وغازات النتروجين الأخرى تبعث أيضاً، وتمتصّ بواسطة التربة. تفاعلات التربة هي محددات أساسية لتراكيز الغازات ذات التراكيز الضئيلة في الجو.

الملوثات الهوائية – يمتص ثاني أوكسيد الكبريت، وكبريتيد الهيدروجين، والهيدروكربونات، وأول أوكسيد الكربون، والأوزون، ونتروجين الهواء الجوي بواسطة التربة . ولأن هذه التفاعلات دقيقة، فقد تم إغفال أهميتها عند تقييم للدمار الذي يحدثه التلوث الهوائي. يمكن رؤية مثالين كلاسيكين آخرين لتلوث التربة بالدقائق المحمولة بالهواء في تراكم المعادن الثقيلة في المناطق المحيطة بالمصاهر، وفي تربات المناطق الحضرية التي تلوثت بأبخرة العادم المرتبطة بإنبعاثات المركبات. لملوثي التربة هذين أهمية شديدة في المناطق المتموضعة، لكنهما قليلا الأهمية في غيرهما.

رشيح مياه السطح الملوثة Infiltration of contaminated surface water

عندما تصب الآبار بالقرب من الجداول والانهار فإن ذلك يستحث إعادة الشحن من الجسم المائي ويوفر ‘نتاجية عالية بعمليات سحب منخفضة. في بعض الأحيان إذا كان الجدول أو النهر ملوثاً يمكن أن يحدث تلوث في حقل بئر ماء التربة. تحدث هذه العملية عادة حينما يسحب بئر ذو إمداد مائي ضحل الماء من مكمن مياه جوفية ذوطمي مجاور لجدول. ينشأ مخروط الضغط الذي يفرضه ضخ البئر أو حقل البئر متدرجاً على مستوى المياه الجوفية ناحية البئر. ويجر هذا المتدرج أو يسحب الماء الملوث تجاه البئر ملوثاً إياها أو ملوثاً حقل البئر.

التخلص الأرضي من المواد الصلبة والسائلة Land disposal of solid and liquid waste materials

تشمل الممارسات الشائعة للتعامل مع أنواع محددة من النفايات التي يمكن إعادة تدويرها (النفايات السائلة والأوحال- المواد الحيوية الصلبة – النفايات من منشآت معالجة مياه المجاري، ومن شركات معالجة الغذاء، ومن المصادر الأخرى) التخلص الأرضي ، أو التخزين، أو الاستخدام الأرضي. تعمل هذه الممارسة كوسيلة تخلص وتوفر استخداماً مفيداً أو إعادة استخدام مفيدة لمواد مثل المخصبات للأراضي الزراعية، وملاعب الجولف، وحدائق المدينة والمناطق الأخرى. غير أن إختيار الأراضي التي تستخدم عليها منتجات النفايات يجب أن يتم بحذر، كما ينبغي أن تختبر هذه الأراضي قبل أن تستخدم. غير أن مشكلة التلوث قد تعود مرة أخرى إذا كان أيٌّ من هذه النفايات ذائباً في الماء ومتحركاً، الشئ الذي قد يسمح لها بأن تحمل عميقاً إلى داخل الطبقة التحت سطحية. إذا كانت منطقة التجفيف أو التسرب واقعة فوق مكمن مياه جوفية، فإن ذلك قد يحدث مشكلة تلوث مياه جوفية.

أكوام التخزين والخبث والأنقاض Stockpiles, tailing, and spoils

بمقدور بعض أكوام تخزين المنتجات الكيميائية (ما لم تُدّر وتُحتوى بصورة مناسبة) أن تساهم في تلوث التربة، وتلوث الطبقة التحت سطحية. أملاح الطرق المخزنة يمكنها أن ترشح الى التربة. ينتج الخبث عادة من أنشطة التعدين ويحتوي عادة على مواد (إسبتوس، وزرنيخ، ورصاص، ومواد ذات نشاط إشعاعي) تمثل خطراً على صحة الإنسان والكائنات الحية الأخرى. تذكر أن الخبث الناتج من عمليات التعدين قد يحتوي على ملوثات تشمل الكبريتيد، والذي يكون حمض الكبريتيك حينما يمزج مع ماء الأمطار. حينما يجري ماء الامطار الذي غُيِّرَ بطريقة كيميائية، أو يتسرب من أكوام الخبث، فانه يرشح عبر الطبقة السطحية ويلوث التربة، وربما وصل في نهاية المطاف إلى المياه

الجوفية. الأنقاض(التي تنتج من عمليات الحفر التي تزال فيها كميات ضخمة من غطاء السطح، وتحفر، وتكوم، ثم تنقل إلى مكان آخر). مشاكل الأنقاض تشابه مشاكل الخبث–تزيل مياه الأمطار المواد في المحلول من الأنقاض عن طريق تسرب (مياه التخلل) أي ملوث من الأنقاض . تجد هذه الملوثات طريقها إلى التربة، ومن ثم ينتهي بها المطاف في مستودعات المياه الجوفية الضحلة.

مقالب النفايات Dumps

التخلص من النفايات بصورة غير قانونية هو أقل شيوعاً اليوم مما كان عليه الحال في الماضي، لحسن الحظ. وفي الواقع رمي النفايات غير المتحكم به ممنوع في معظم الدول المتقدمة صناعياً. غير أن بقايا هذه الممارسات غير القانونية ما زالت موجودة معنا. يمكن لمواقع رمي النفايات أن تحتوي على كل شئ. هذه المواقع ما زالت تشكل تهديداً متموضعاً للتلوث التحت سطحي.

نشر الملح على الطرقات Salt spreading on roads

تنتشر ممارسة نشر أملاح التذويب على الطريق السريعة بصورة كبيرة، خصوصاً في المناطق الحضرية في شمالي الولايات المتحدة. بالاضافة إلى التسبب في تدهور حال المركبات، والجسور، والطرقات ذاتها، لنشر الملح على الطرقات تأثير شديد السلبية على النباتات التي تنمو على جانب الطريق السريع المعالج. والأمر الأكثر جدية هو أنه سرعان ما يرشح التلوث بالملح إلى أسفل سطح الأرض. ولأن معظم النباتات لا تستطيع أن تنمو في التربات المالحة فإن إنتاجية الأرض تتناقص . يمكن للاستخدام المستمر أن يقود إلى تلوث آبار مياه الشرب.

معالف الحيوانات Animal feedlots

بعض أكبر المساهمات في تلوث المياه السطحية من المصادر غير النقطية هي معالف الحيوانات. معالف الحيوانات هي أيضاً مساهمات مهمة في تلوث المياه الجوفية. الفضلات الحيوانية في معالف الحيوانات تتكوم ،حرفياً. هذه

الأكوام الساكنة (لفترات طويلة أحياناً) تتسبب في مشاكل مع مياه الجريان التي تحتوي على الملوثات. هذه الملوثات ربما لن تدخل إلى أقرب جسم مياه سطحية وحدها بل ربما تتسرب كذلك إلى التربة ملوثة إياها.

المخصبات ومبيدات الآفات Fertilizers and pesticides

أصبحت المخصبات ومبيدات الآفات الركائز الأساسية للزراعة ذات المنتوج العالي. لهذه المواد أيضاً تأثير مهم على البيئة، وينتج كل واحد منها أنواعاً مختلفة من الملوثات. حينما نستخدم المخصبات ومبيدات الآفات على التربة، هل نحن نعالجها– أم نسممها؟ ما زلنا نبحث عن إجابة قاطعة عن هذا السؤال. إلا أن هناك شيئاً مؤكداً، وهو أنه مع استخدام المخصبات والمبيدات الحشرية؛ والأثار طويلة المدى لهذه الممارسات؛ فإن المأزق الحقيقي هو أننا لا نعلم ما الذي لا نعلمه. نحن بدأنا الآن، في رؤية وفهم تأثير استخدام هذه المواد الكيميائية. وما زال أمامنا الكثير لنتعلمه.

الإنسكابات العرضية Accidental spills

يمكن للإنسكابات العرضية للمنتجات الكيميائية، والتي هي شائعة بدرجة مزعجة، أن تكون مدمرة جداً لأي واحد من الأوساط البيئية الثلاث– الماء ، والهواء، والتربة. حينما لا تكتشف الإنسكابات الكيميائية في التربة بسرعة، فإن الملوثات قد تنتقل إلى داخل وعبر التربة وعبرها وصولاً إلى مستوى المياه الجوفية. وكقاعدة عامة، يمكننا القول إن تأثير الانسكابات الكيميائية يرتبط بصورة مباشرة بالتركيز الموجود عند نقطة وزمن الإطلاق، والمدى الذي يتزايد به التركيز أو يتناقص أثناء التعرض، والزمن الذي إستغرقه التعرض.

إنتاج السماد من الأوراق والنفايات الأخرى Composting of leaves and other wastes

عملية انتاج السماد عملية شائعة وسط العديد من مالكي المنازل، الذين يستخدمون التحلل المحتوى والمتحطم به لنفايات النباتات ونفايات الباحات من

أجل التخلص من هذه النفايات وإعادة استخدامها بصورة مفيدة وبصورة صديقة للبيئة. إلا إنه حينما تكون الأوراق، وأفرع الأشجار، والمواد العضوية الأخرى المستخدمة قد عولجت بالمبيدات الكيميائية، وبعض المخصبات، فان إنتاج السماد من هذه المادة قد يكون ضاراً بالتربة.

معالجة تلوث التربة Soil pollution remediation

عنى التوسع السريع والتعقد المتزايد للصناعات الكيميائية في القرن الماضي، وبالأخص في الثلاثين عاماً الأخيرة، وجود كميات متزايدة ومعقدة من النفايات السامة المخرجة. في الوقت ذاته، ولحسن الحظ، بدأت السلطات المنظمة في زيادة إهتمامها بمشاكل تلوث البيئة.

سلط حدوث الحوادث الكبيرة– التي تشمل إنسكاب النفط بسبب شركة إكسكسون فالدز؛ وكارثة بوبال التي تسببت فيها شركة يونيون كارابايد (داو)؛ والتلوث واسع النطاق لنهر الراين؛ والتدهور التدريجي للمساكن المائية وغابات الصنوبر في الشمال الشرقي للولايات المتحدة الأمريكية، وكندا، وبعض أجزاء أوروبا؛ أو إطلاق المواد المشعة من حادثة شيرنوبل–والإهتمام العام المهول الذي تلا ذلك الحادث نتيجة للمشاكل البيئية الذي تسبب فيها الضوء على الإحتمالية الوشيكة وتلك بعيدة المدى للكوارث في الرأي العام.

وعلى الرغم من أن "المعالجة" هي آخر الكلمات الطنانة في ما يخص تقليل تلوث البيئة، أو التلوث، أو الإنسكابات الكيميائية، فإن تقنيات معالجة التربة ليست هي بالحل الأمثل لهذه المشكلة. وعلى الرغم من أن تقنيات معالجة التربة المتاحة قد تكون فعالة في معظم الأحيان، إلاّ أنها ليست بالضرورة الإجابة الكاملة للمشاكل التي يتسبب فيها تلوث البيئة.

والمشكلة الأولى ذات صلة بحقيقة أن ممارسات معالجة تلوث التربة ما زالت فرعاً قيد التطوير من علم وهندسة البيئة– وما زلنا نتعلم دروسنا. والمشكلة الأكثر وضوحاً لها صلة بالتوقيت وبالسرعة. ومعالجة تلوث التربة هي آخر

العمليات في تسلسل خطوات مجابهة تلوث التربة، بسبب أن الأفعال لا تتخذ إلاّ حين نتحقق من أن المشكلة قد حدثت سلفاً–بعد إنسكاب أو إطلاق الملوثات في التربة. في تلوث الماء والهواء، يمكننا أن نحد دائماً من الدمار الذي يحدثه التلوث أو نمنع حدوثه في الأصل بتجميع الملوث من نقطة المصدر قبل أن يدخل الى الوسط البيئي. إلا أنه في حالة تلوث التربة لا يكون الضرر قد وقع فحسب، بل وقع قبل عدة أعوام، الشيئ الذي يمثل تحدياً أكبر لقدراتنا على معالجة التلوث.

تقسم التقنيات المتاحة لمعالجة التربة الملوثة بمنتجات البترول والمياه الجوفية: المعالجة الموضعية أو غير الموضعية–معالجة التربة في موضعها، ومعالجة التربة التي أزيلت من موقعها. يقدم الجدول 15.3 تجميعاً للتقنيات المتعددة لمعالجة التربة.

الجدول 15.3 تقنيات معالجة التربة

التقنية	الملوثات التي يمكن تطبيقها عليها
	الموضعية
التخفيف الطبيعي	الهيدروكربونات البترولية المذيبات المكلورة
السلبية	الهيدروكربونات البترولية المذيبات المكلورة مخلفات قطران الفحم
الترشيح/ التفاعل الكيميائي	الهيدروكربونات البترولية المذيبات المكلورة
العزل/ الإحتواء	الهيدروكربونات البترولية المذيبات المكلورة مخلفات قطران الفحم
التثبيت	الهيدروكربونات البترولية المذيبات المكلورة المعادن مخلفات قطران الفحم
التطيير(الإستخلاص البخاري)	المركبات العضوية المتطايرة
المعالجة الحيوية[أ]	الهيدروكربونات البترولية[ب]
	غير الموضعية

المعالجة الأرضية	مخلفات قطران الفحم الهيدروكربونات البترولية
المعالجة الحرارية	الهيدروكربونات البترولية المذيبات المكلورة مخلفات قطران الفحم
التصليب/ الإستقرار	الهيدروكربونات البترولية المذيبات المكلورة المعادن مخلفات قطران الفحم
الأستخلاص الكيميائي	الهيدروكربونات البترولية المذيبات المكلورة المعادن مخلفات قطران الفحم
التنقيب/الحفر	الهيدروكربونات البترولية المذيبات المكلورة المعادن مخلفات قطران الفحم

وعلى الرغم من أهداف الوكالات المنظمة التي تراقب مجهودات التنظيف تشمل إزالة كل جزء من أجزاء التلوث وإعادة المظهر الطبيعي الى حالته الطبيعية، إلاّ أن إنجاز ذلك الهدف هو أمر بعيد الإحتمال.

تشمل المعلومات المهمة حول التربة والتلوث ما يلي:

- تلوث التربة هو مثار قلق بيئي ليس في الولايات المتحدة فحسب، بل في العالم كله.
- وبغض النظر عن منشأها، تتكون التربة من أربعة مكونات: المادة المعدنية، والماء، والهواء، والمادة العضوية.
- عادة ما يرتبط التلوث البترولي بأحواض التخزين الجوفية.
- إضافة الى المشكلة الظاهرة المتمثلة في إفساد البيئة، تشكل الكثير من أحواض التخزين الجوفية المسربة مخاطر إحتراق وإنفجار جدية.
- أوضحت التجارب أنه من السهل وصف مصير البترول في التربات باستخدام مصطلحات كيفية.

- أفضل استخدامات طاقة الحرارة الجوفية هي توليد الكهرباء.
- تنتج منشأآت الغاز المصنع مجموعة متنوعة من نواتج النفايات الخطرة.
- تنتج عمليات التعدين مشاكل تلوث للماء وللأرض.
- المقدرة على مبادلة الكاتيونات هي مقدرة التربة على حمل الكاتيونات.
- الأس الهيدروجيني للتربة هو واحد من أهم الخواص ذات الصلة بنمو النباتات.
- الترىات المالحة هي الترىات التي يوجد بها الكثير من الأملاح الذائبة.
- يعتمد لون التربة بصورة أساسية على كمية الدبال والهيئات الكيميائية لأيونات الحديد الموجودة.
- يقصد بقوام التربة النسب النسبية للرمل، والغرين، والطين في التربة.
- يقصد ببنية التربة إتحاد أو إنتظام جسيمات التربة في هيئة جسيمات ثانوية.
- نصف حجم التربة بالتقريب هو عبارة عن فراغ تشغله كميات مختلفة من الهواء ومن الماء، إعتماداً على درجة إبتلال التربة.
- يقصد بالتصريف مقدرة التربة على التخلص من الماء الفائض.
- يقصد بعمق التربة مدى عمق التربة الفوقية والتربة التحتية من القمة الى القا ع.
- للميل تأثير ملموس على مقدار الجريان السطحي وتجريف التربة بواسطة الماء المنساب.
- من المهم فهم الكيفية التي تؤثر بها آلية نقل التربة على نظام إنسياب الملوثات.
- تشمل معيقات الملوثات الإدمصاص، والإتزان الأيوني، وترسيب الملوثات، والتفكيك الحيوي.

- تلوث كل الأنشطة البشرية، الى درجة ما، التربة والمياه الجوفية.
- حينما تحدث إنسكابات كيميائية أو حوادث وتلوث التربة فإن "المعالجة" هي آخر الكلمات الطنانة التي نسمعها فيما يخص التقليل من مشكلة التلوث.
- وعلى الرغم من أهداف الوكالات المنظمة التي تراقب مجهو دات التنظيف تشمل إزالة كل جزء من أجزاء التلوث وإعادة المظهر الطبيعي الى حالته الطبيعية، الا أن إنجاز ذلك الهدف هو أمر بعيد الإحتمال.

ملخص الفصل

Chapter Summary

ترافق الأفعال والتفاعلات الكيميائية كل ما نفعل، كل يوم. ولكي يتمكن العاملون في مجال البيئة من إنجاز أعمالهم كما ينبغي، يتحتم عليهم أن يكونوا على دراية بما يتجاوز الأساسيات الكيمائية للطريقة التي يحول بها البشر بيئتهم، وبالطريقة التي يؤثرون بها على البيئة. والكيمياء هي جزء من المادة الأساسية التي تمثل لب علم البيئة– ومن دون فهم وإجادة علم الكيمياء لن تتمكن من إجادة علم البيئة.

أسئلة مُناقشة ومشكلات

Discussion Questions and Problems

1. ما هي مولارية 12 غرام من الملح () المذاب في 1 لتر من الماء؟
2. تُعرَّف على التغيرات الفيزيائية والكيميائية في الآتي.

أ. تحطيم كأس شراب.

ب. تجميد الماء في شكل مكعبات ثلج.

ت. تمزيق ورقة.

ث. إذابة الشاي سريع التحضير في الماء.

3. ما هو الفرق بين الذرة والجزيئ.
4. لماذا لا يعتبر الهواء عنصراً؟
5. كيف يمكن لذرتين من نفس العنصر أن تختلفا من ناحية أوزانهما الذرية؟
6. ما هو وزن الصيغة لملح الطعام ($NaCl$).
7. ما هو وزن الصيغة لكبريتات الألمونيوم ($Al_2(SO_4)_3$)؟
8. ما هي مولارية محلول يحتوي على 25 غراماً من الكحول (C_2H_5OH)، في 1000 مل من المحلول (1000 مل = 1 لتر).
9. إرسم البنى التركيبية للمركبات العضوية الآتية:

أ. بنزين

ب. بروبان

ت. بروبين

10. ما هي الرابطة الكيميائية؟
11. إشرح مفهوم الكثافة ووضح فرقه من مفهوم الكتلة.
12. لماذا نكتب رقم أفوقادرو () مرفوعة لقوى عشرية؟

مواضيع أبحاث مقترحة ومشاريع

Suggested Research Topics and Projects

- تاريخ التسمية الكيميائية والجدول الدوري.
- تَعريف موسع: التفاعل/التغير الكيميائي، الروابط الكيميائية.

مراجع وقراءات إضافية

References and Additional Reading

Air Pollutants, 2002. Accessed at www.doc.mmu.ac.uk/aric/ease/airquality/older/Air_Pollutants.html.

Andrews, J. E. *Environmental Chemistry*. Cambridge, Mass.: Blackwell Science Publications, 1996.

Bohn, H. L., B. L. McNeal, and G. A. O'Connor. *Soil Chemistry*. 2nd ed. New York: Wiley, 1985.

Bohn, H. L. L., et al. *Soil Chemistry*. New York: Wiley, 2001.

A Concise Dictionary of Chemistry. Oxford: Oxford University Press, 1990.

Eastcott, L., W. Y. Shir, and D. Mackay. "Modeling Petroleum Products in Soil." In *Petroleum Contaminated Soils, Vol. I*, ed. Paul T. Kostecki and Edward J. Calabrese. Chelsea, Mich.: Lewis Publishers, Inc., 1989.

Evangelou, V. P. *Environmental Soil and Water Chemistry: Principles and Applications*. New York: Wiley, 1998.

Freedman, B. *Environmental Ecology*. New York: Academic, 1989.

Frei, R. W. W., et al. *Analysis and Chemistry of Water Pollutants, Vol. 6*. New York: Gordon & Breach Publishing Group, 1983.

Graedel, T. E., and P. J. Crutzen. *Atmosphere, Climate, and Change*. New York: Scientific American, 1995.

Hansen, J. E., et al. "Climate Sensitivity to Increasing Greenhouse Gases." In *Greenhouse Effect and Sea Level Rise: A Challenge for This Generation*, ed. M. C. Barth and J. G. Titus. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

Hastie, D. R. *Atmospheric Particulate Matter*: www.cac.yoku.ca/people/hastie/ [accessed 2002].

Henry, J. G., and G. W. Heinke. *Environmental Science and Engineering*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1989.

Hobbs, P. V. *Introduction to Atmospheric Chemistry*. Cambridge University Press, 2000.

Hrubec, Juri, ed. *Water Pollution: Drinking Water and Drinking Water Treatment*. New York: Springer-Verlag, 1995.

Kostecki, P. T., and E. J. Calabrese. *Petroleum Contaminated Soils: Volume 1, Remediation Techniques, Environmental Fate, and Risk Assessment*. Chelsea, Mich.: Lewis Publishers, 1989.

MacKenzie, J. J., and T. El-Ashry. *Ill Winds: Airborne Pollutant's Toll on Trees and Crops*. Washington, D.C.: World Resource Institute, 1988.

Manahan, S. E. *Environmental Science and Technology*. Boca Raton, Fla.: CRC Press/Lewis Publishers, 1997.

———. *Fundamentals of Environmental Chemistry*. Boca Raton, FL: CRC Press/Lewis Publishers, 1993.

Masters, G. M. *Introduction to Environmental Engineering and Science*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1991.

Meyer, E. *Chemistry of Hazardous Materials*. 2nd ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1989.

Orlov, D. S. *Soil Chemistry*. Russia: Balkem, A.A., 1992.

Peavy, H. S., D. R. Rowe, and G. Tchobanoglous. *Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill, 1985.

Reed, M. J. Environmental Compatibility of Geothermal Energy. U.S. Department of Energy Technical Site (geotherm.inel.gov/geothermal/articles:read/index.html), 2002.

Schaefer, V. J., and J. A. Day. *Atmosphere: Clouds, Rain, Snow, Storms*. Boston: Houghton Mifflin, 1981.

Seinfeld, J. H., and S. N. Pandis. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution & Climate Change*. New York: Wiley-Interscience, 1997.

Shipman, J. T., J. L. Adams, and J. D. Wilson. *An Introduction to Physical Science*. 5th ed. Lexington, Mass.: D.C. Heath & Company, 1987.

Snoeyink, V. L., and D. Jenkins. *Water Chemistry*. New York: Wiley, 1980.

Sparks, D. L. *Soil Physical Chemistry*. 2nd ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press, 1998.

Spellman, F. R. *The Science of Environmental Pollution*. Lancaster, Pa.: Technomic Publishing Company, 1999.

Spellman, F. R., and J. E. Drinan. *Stream Ecology & Self-Purification: An Introduction*. 2nd ed. Lancaster, Pa.: Technomic Publishing Company, 2001.

Spiro, T. G., and W. M. Stigliani. *Chemistry of the Environment*. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, 1996.

Stumm, W., and J. J. Morgan. *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*. New York: Wiley, 1996.

Testa, S. M. *The Reuse and Recycling of Contaminated Soil*. Boca Raton, Fla.: CRC/Lewis Publishers, 1997.

Tucker, R. K. ''Problems Dealing with Petroleum Contaminated Soils: A New Jersey Perspective.'' In *Petroleum Contaminated Soils, Vol. I*, ed. P. T. Kostecki and E. J. Calabrese. Boca Raton: Fla.: CRC/Lewis Publishers, 1989.

Wallace, J. M., and P. V. Hobbs. *Atmospheric Science: An Introductory Survey*. San Diego, Calif.: Academic, 1997.

What Is Geothermal Energy? Geothermal Technologies: 2002. www.eren.doe.goc/geothermal/about.html [accessed 2002].

WRI & IIED. *World Resources 1988–1989*. New York: Basic, 1988.

علم الأحياء البيئي
Environmental Biology

ظهرت المقالة الإخبارية التالية، لسكوت هاربر(1997)، في صحيفة فيرجينيا بايلوت*Virginia-Pilot* (نورفولك):

عدو صغير، ومخاوف ضخمة Big Worries،Tiny Enemy

يبدو سكان (ساكس، فيرجينيا) ذوو الملامح الصارمة، وهم حوالي 300 شخص أو ما يقارب ذلك بحسب العمدة جارلس تول، مهمومون بأنهم قد يكونون في طريقهم للزوال. فقد تقضي عليهم التعرية الناتجة من الأمواج والعواصف القادمة من خليج جيسبيك على المدى الطويل: ولكن مصدر قلقهم هذه الأيام هو ميكروب فتاك، يُظَن أنه يتربص بهم في نهر بوكوموك المجاور، وربما كان الأمر الأكثر أهمية هو مخاوف المستهلكين التي إنتشرت عبر القطر عن تناول الأطعمة البحرية التي تم إصطيادها في هذه المياه.

تعتمد ساكس بشكل حصري على هبة مضيق بوكوموك، وعلى نهر بوكوموك لتدبير أمور معاشهم. "سيكون أمراً مخيفاً إذا ما أغلقوا مضيق بوكوموك "كما يقول أوبري جستس، وهو رئيس جمعيه صيادي بكوموك، قال هذا وهو يستند إلى سارية لوحتها الشمس: "إذا ما أخذت السرطانات البحرية بعيداً منا فيمكنك ببساطة أن تأخذ ساكس خارج الخريطة. خذ مقصاً ليس غير، وإقطعها من الخريطة".

أهداف الفصل Chapter Objectives

بعد دراسه هذا الفصل يجب أن تكون قادراً على أن:

- تناقش التفاعل بين علم البيئة وعلم الأحياء الدقيقة.
- تعرّف، وتصف، وتوضح مفاهيم علم الأحياء الدقيقة

وتطبيقها في علم البيئة، شاملاً العمليات الإنزيمية الإستقلابية.

- تعرّف، وتستخدم نظام لينيص للتسمية الثنائية وعلاقتها بعلم الأحياء الدقيقة وعلم البيئة.
- أن تعرّف، وتناقش، وترسم أجزاء الخلية.
- أن تعرّف وتناقش وظيفه الخلية وتركيبها.
- أن تعرّف وتناقش وترسم وتطبق المعلومات المقدمة عن البكتريا، والفيروسات، واللواقم البكتيرية، والفطريات، والطحالب، والبروتوزوا وتصنيفها وطرق التعرف إليها، وأشكالها، وتركيبها، وخواصها، وطرق تكاثرها، وتغذيتها، وإستقلابها، وطرق تزريعها في مجال علم البيئة.
- ناقش الإعتبارات المرتبطة بالمادة الحبيبية المنقولة عن طريق الجو.
- تعرّف وتناقش كيفية عمل الإنزيمات في تحليل المواد العضوية.
- تعرّف وتطبق المفاهيم المتعلقة بعمليات تنشيط المواد الصلبة الحيوية.
- تناقش كيفية تصنيف الإنزيمات، وتأثير الحرارة على فعل الإنزيمات.
- أن تعرّف، وتناقش، وتطبق مفاهيم التحول الإستقلابي، ويشمل ذلك التنفس، دورة كربس، ونظام نقل الإلكترون، والإستقلاب الذاتي والمتغاير التغذية، والنمو، والحرارة، والأس الهيدروجيني، وتوفر الماء، والأوكسجين.

- أن تعرّف، وتناقش، وتطبق المفاهيم، والعوامل، والمشاكل المتعلقة بالإمراضية في علم البيئة.

خطة الفصل Chapter Outline

- إعطاء أمثلة ومناقشة : الفستيريا، علم البيئة، علم الأحياء الدقيقة.
- تعريف ومناقشة : علم الأحياء الدقيقة.
- تعريف ومناقشة : التصنيف.
- تعريف ومناقشة : الخلية وتركيب الخلية
- تعريف، ومناقشة، وأمثلة : البكتريا – الأشكال البكتيرية، تركيب سطح الخلية والمشتملات، والأسواط، والجدر الخلوية، والغشاء الخلوي، والسايتوبلازم، والميزوسوم، والرايبوزومات، ودقائق التخزين، والمحتوى الكيميائي، والإستقلاب، والتخليق الكيميائي، والبكتريا ذاتية التغذية والبكتريا متغايرة التغذية، وتصنيف البكتريا.
- تعريف، ومناقشة، وأمثلة : الفيروسات – اللواقم البكترية
- تعريف، ومناقشة، وأمثلة : الفطريات –التصنيف طرق التعرف، المفردات الأساسية للفطريات، طرق التزريع، طرق التكاثر، التغذية، الاستقلاب
- تعريف، ومناقشة، وأمثلة : الطحالب – المفردات الأساسية للطحالب، توصيف، خواص التصنيف، تركيب جدار الخلية، الكلوروفيل، الحركة، التغذية، طرق التكاثر، خواص الانقسام.
- مثال ومناقشة : المادة الحبيبية المنقولة بواسطه الهواء وليجونيلا نيموفيليا

- تعريف، ومناقشة، وأمثلة : تصنيف البروتوزوا والكائنات الحية الدقيقة الأخرى.
- إعطاء مثال ومناقشة : عملية تنشيط المواد الصلبة الحيوية.
- تعريف، ومناقشة، وأمثلة : المفككات.
- تعريف، ومناقشة، وأمثلة : القشريات.
- تعريف، ومناقشة، وأمثلة : الديدان.
- تعريف، ومناقشة، وأمثلة : الإنزيمات– طبيعتها، عملها، فعاليتها، تخصصها،تصنيفها، والتأثيرات البيئية على نشاط الإنزيمات.
- تعريف، ومناقشة، وأمثلة : التحولات الإستقلابية – الإستقلاب العام، التحلل الجلكوزي، التنفس، دورة كربس، نظام نقل الإلكترونات، إستقلاب البكتريا ذاتية التغذية واستقلاب البكتريا متغايرة التغذية، ونموالبكتريا، والحرارة، والأس الهيدروجيني، وتوفر الماء، والأوكسجين.
- تعريف، ومناقشة، وأمثلة : الإمراضية – عوامل نقل الأمراض، الطفيليات والممرض.

المصطلحات الأساسية Key Terms

هوائية	aerobic	الفطريات	Fungi
طحالب	algae	الجينوم	genome
أميبيا	amoeba	الجنس	genus
الأيض البنائي	anabolism	التحلل الجلكوزي	glycolysis
صميم الإنزيم	apoenzyme	النمو	growth
الاهوائي	anaerobic	منحنى النمو	growth curve

heterotrophic	متغايرة التغذية	autotrophic	ذاتية التغذية
holoenzyme	الإنزيم الكامل	bacilli	العصوية
hypha	الخيط الفطري	bacteria	البكتريا
inclusion	المشتملات	bacteriophage	العاثي أولاقم البكتريا
Krebs cycle	دورة كربس	benthic	قاعية
mesosome	ميزوسوم	binomial system of nomenclature	نظام التسمية الثنائية
metabolic transformation	التحولات الاستقلابية	biology	الأحياء
metabolism	الإستقلاب / الأيض	spores	أبواغ
microbiology	علم الأحياء الدقيقة	budding	التبرعم
mitochondria	الميتوكندريا	capsule	العلبة أوالكبسولة
motility	الحركة	catabolism	الأيض الهدمي
mycelium	كتلة خيوط فطرية	catalysis	الحفز
mycology	علم الفطريات	cell	الخلية
nucleoid	شبه النواة	cell membrane	غشاء الخلية
nutrient	المغذيات	cell nucleus	نواة الخلية
organelle	العضية	cell wall	جدار الخلية
oxidation	الأكسدة	chemosynthesis	التخليق الكيميائي

parasite	الطفيل	chlorophyll	صبغة الكلوروفيل
pathogen	المُمرِض	chloroplast	الكلوروبلاست
pellicle	القشرة	cilia	الأهداب
plankton	بلانكتون	cocci	المكورات
plasma membrane	الغشاء البلازمي	cofactor	العامل المساعد
procaryotic	ذات النواة الكاذبة	conidia	غبيرات
protozoa	البروتوزوا	crustacean	القشريات
Reduction	الإختزال	cytochrome	السايتوكروم
ribosomes	الرايبوزومات	cytoplasm	السايتوبلازم
rotifers	المفككات	diatom	الدايتومات
saprophyte	الرماميات	sinoflagellates	السوطيات الدوارة*
species	الأنواع	electron transport system	نظام نقل الإلكترونات
sporilla	الحلزونيات	endergonic	ماص للطاقة
sporangiospore	الأبواغ المباغية	endoplasmic reticulum	الشبكة الاندوبلازمية
spore	بوغ	enzymes	الإنزيمات
substrate	ركيزة	enkaryotic	حقيقية النواة
vacuole	حويصلة	entrophication	التخثث
vectors	نواقل	exergonic	باعث للطاقة

إختياري	facultative	الفوعة	virulence
سوط	flagella	فيروس	virus
فرستول	frustule	المواد الغريبة على البيئة	xenobiotics

مقدمة Introduction

في المقدمة تشير المقالة الإخبارية السابقة إلى مشكلة بيئية نتجت عن عدوى بميكروب الفستريا (pfiesteria)، الذي تسبب في مقتل حوالي بليون من الأسماك في الطرق المائية الساحلية لكارولينا الشمالية، وتم إكتشافه كذلك في الطرق المائية الممتدة شمالاً حتى فيرجينا وميريلاند. وظاهرياً يبدو أن ميكروب الفستريا –أحد الكائنات الدقيقة الشائعة، إلا أنه يمكن أن يتحول إلى شكل سام في ظروف بيئية معينة – هذه هي المشكلة. ولكن ليس هذا كل ما في الأمر، إذ إن هنالك المزيد لهذه المشكلة. فإن لميكروب الفستريا المقدرة على النمو في الطرق المائية التي تصرف فيها المخلفات البشرية، لذا يعتقد العلماء أن التلوث هو السبب في هذا التحول إلى الشكل السام. إننا نواجه مشكلة بيئية معقدة، تقود فيها سلسلة من الأحداث إلى سلسله من الظروف – المياه الملوثة بالمخلفات، التي توفر الموطن لميكروب الفستريا القاتل للأسماك.

وكما أن علم الكيمياء ضروري لعلم البيئة، كذلك الحال بالنسبة لعلم الأحياء. فبالإضافة إلى معرفه أساسية بالكيمياء، يفترض هذا الكتاب أن يكون لقرائه معرفة بسيطة بعلم الأحياء – خصوصا علم الأحياء الدقيقة. نشدد على أهمية علم الأحياء الدقيقة بسبب التأثيرات الإيجابية والسلبية لهذه الكائنات الدقيقة على بيئتنا. كما يتضمن هذا الكتاب بعض المبادئ الأساسية لعلم الكيمياء الحيوية ذات الصلة بالإنزيمات والعمليات الاستقلابية. وتكمل هذه الأجزاء نقاشنا لعلم الأحياء الدقيقة البيئية.

علم الأحياء هو علم الحياة. وبالتحديد، يشمل هذا العلم كل العلوم المتعلقة بالحياة – علم التشريح، وعلم وظائف الأعضاء، وعلم الخلية، وعلم الحيوان، وعلم النباتات، وعلم المحيط، وعلم الجينات، وعلم الكيمياء الحيوية، والفيزياء الحيوية، وسلوك الحيوانات، وعلم الأجنة، وعلم الأحياء الدقيقة. في هذا الكتاب، نهتم بالحياة المجهرية – دراسة علم الأحياء الدقيقة. وسيكون تركيزنا على علم الأحياء الدقيقة لأننا نهتم بهذه "الأشياء" (الأحياء المجهرية) التي تؤثر على بيئتنا – هوائنا، ومائنا، وتربتنا – حياتنا.

سنركز على الأحياء الدقيقة لأسباب أخرى أيضاً. فقد ظهرت مواضيع بحثية جديدة وتحول الإهتمام بشكل متزايد إلى المعالجة الحيوية للنفايات الخطرة، وللتعرف إلى/ والتحكم في العوامل الممرضة الجديدة. وعلى سبيل المثال، إزدهر المجال الخاص بعلم أحياء الماء/ومياه الصرف الصحي في العقدين الأخيرين إذ طورت أدوات جديدة لدراسة دور الكائنات الحية الدقيقة في معالجة المياه ومياه الصرف الصحي.

يكمن سبب مهم آخر لتركيزنا على علم الأحياء الدقيقة، في أننا قد شهدنا تطورات درامية في طرق التعرف على الكائنات الحية الدقيقة الممرضة والطفيليات في العينات البيئية المختلفة. كما أن هنالك إهتماماً متزايداً من قبل ممارسي علم البيئة وعلماء الأحياء الدقيقة في سمية المواد الغريبة على البيئة الحيوية (التي ستناقش لاحقاً في هذا الفصل) وتحللها الحيوي (تعرّف هذه المواد على أنها أي مادة كيميائية موجودة في البيئة الطبيعية، ولكنها غير موجودة بشكل عادي في الطبيعة – مثل المبيدات الحشرية و/ أو الملوثات الصناعية، على سبيل المثال) عن طريق العمليات الهوائية واللاهوائية في منشآت معالجة مياه الصرف الصحي. لذا فإن محور هذا الفصل هو إستكشاف التفاعل بين الدراسات البيئية وعلم الأحياء الدقيقة، والذي يأمل أن

يقود إلى تفاعلات مثمرة بين علماء الأحياء الدقيقة وممارسي علم البيئة.

علم الأحياء الدقيقة Microbiology

علم الأحياء الدقيقة هو دراسة الكائنات ذات الأبعاد المجهرية (التي لا يمكن أن ترى من دون مساعدة المجهر). علماء الأحياء الدقيقة هم العلماء الذين يهتمون بدراسة شكل، وتركيب، وطرق تكاثر، وعلم وظائف أعضاء، وإستقلاب الكائنات الحية الدقيقة، والتعرف إليها. تشمل هذه الكائنات التي يدرسها علماء هذا المجال بشكل عام البكتيريا، والفطريات، والبروتوزوا، والطحالب، والفيروسات. تكون هذه الكائنات المتناهية الصغر مجموعة ضخمة ومتنوعة من الأشكال حرة المعيشة والتي توجد على شكل خلايا وحيدة، أو/في هيئة مجاميع من الخلايا أو/عناقيد. توجد هذه الكائنات الحية الدقيقة بوفرة في أي مكان على سطح الأرض؛ ومعظم هذه الكائنات غير ضار. يوجد عدد من هذه الكائنات الدقيقة، أو الميكروبات على شكل خلايا وحيدة (أحادية الخلية)، في حين يوجد بعضها الآخر في شكل كائنات متعددة الخلايا، وبعضها الآخر (الفيروسات) ليس لها أي مظهر خلوي حقيقي. بسبب أن الكائنات الحية الدقيقة توجد على شكل خلايا منفردة أومجاميع من الخلايا، فهي فريدة ومختلفة عن خلايا الحيوانات والنباتات، والتي لا تستطيع أن تعيش بمفردها في الطبيعة، وتوجد كجزء من كائنات متعددة الخلايا. تظهر الخلايا الميكروبية الخواص المميزة الشائعة في الأنظمة الحيوية، مثل الإستقلاب، والتكاثر، والنمو.

التصنيف Classification

لعدد من القرون صنف العلماء أشكال الحياة المرئية بالعين المجردة أما كنباتات أو كحيوانات. وضع عالم الطبيعة السويدي كارلوس لينوس معظم المعرفة الحالية عن الكائنات الحية عام 1735.

إن أهمية تصنيف الكائنات الحية أمر بالغ الأهمية. فمن دون خطة للتصنيف

كيف يمكننا أن نحدد معايير التعرف إلى هذه الكائنات وتنظيم المتشابهة منها في شكل مجموعات ؟

والسبب الأكثر أهمية للتصنيف هو بناء نظام قياسي يسمح لنا بالتعامل مع المعلومات بشكل فعال – فهو يجعل من الوفرة والتنوع الشديدين للعالم الطبيعي أمراً أقل إرباكاً.

لقد كان نظام لينوس للتصنيف مبتكراً على نحو إستثنائي. فلا زال نظامه للتسمية الثنائية (Binomial Nomenclature) يستخدم اليوم. ففي هذا التصنيف توصف كل الكائنات الحية بإسم علمي من شقين، إسم الجنس واسم النوع. الجنس والنوع هما مجموعات تمثل جزءاً من تسلسل هرمي للمجموعات المتزايدة حجماً، واستناداً إلى هذه التسمية (التصنيف). فإن هذا التسلسل الهرمي هو :

مملكة (Kingdom)

قبيلة (Phylum)

صف (Class)

رتبة (Order)

عائلة (Family)

جنس (Genus)

نوع (Species)

بإستخدام هذا التسلسل الهرمي لنظام لينوس للتسمية الثنائية والتسمية العلمية، تشتمل التسمية العلمية لأي كائن حي (كما أوضحنا سابقاً) على كل من إسم الجنس وإسم النوع. يستهل اسم الجنس دائما بحرف كبير، في حين يستهل إسم النوع بحرف صغير. في بعض الأحيان وحين يكون احتمال الخلط قليلاً جداً، يمكن اختصار اسم الجنس إلى حرف واحد كبير. تكتب هذه الأسماء باللغة اللاتينية، ولذا عادة ما تطبع بحروف مائلة، أو نضع تحتها خطاً. بعض

الكائنات الحية لها أسماء شائعة باللغة الانجليزية (Common names)، فبعض أسماء الميكروبات المهمة والشائعة موجودة في القائمة التالية :

- السلمونيللا–عصويات التيفويد
- الإشريكية القولونية–البكتيريا القولونية
- قارضيا لامبليا–من البروتوزوا

تعرف الإشريكية القولونية عادة باختصارها المعروف في اللغة الإنجليزية (*E.coli*). أما قارضيا لامبليا فتعرف اختصاراً باسم الجنس، قارضيا (Giardia).

دعنا نلقي نظرة على نظام مبسط لتصنيف الكائنات الحية الدقيقة، يستخدم في معالجة المياه، ومياه الصرف الصحي. يُقسَم هذا التصنيف الأحياء إلى ممالك الحيوانات والنباتات والطلائعيات (Protista). كقاعدة عامة تحتوي مملكتي الحيوانات والنباتات على الكائنات عديدة الخلايا وتشمل مملكة الطلائعيات الكائنات وحيدة الخلية. ومع هذا التصنيف للكائنات الحية الدقيقة المستند إلى الممالك المذكورة سابقاً، يمكن تصنيف الكائنات الحية الدقيقة إلى حقيقية النواة (Eucaryotic) والى كائنات بدائية النواة (Procaryotic) (انظر الجدول 1.4) فالكائن حقيقي النواة يتميز بتنظيم خلوي يشتمل على غشاء نووي واضح. في حين أن الكائن بدائي النواة يتميز بنواة تفتقد إلى غشاء نووي محدد.

الخلية The Cell

عرفنا، منذ القرن التاسع عشر، أن الكائنات الحية كلها، سواء أكانت حيواناً أو نباتاً، تتكون من خلايا وهي الوحدات الأساسية لكل الكائنات الحية، بغض النظر عن مدى تعقيدها. تتكون الخلية العادية من كيان مفصول من الخلايا الأخرى بغشاء أو جدار خلوي. يحتوي الغشاء الخلوي على البروتوبلازم (المادة

الحية داخل الخلايا) والنواة. وفي خلية نباتية ناضجة، يكون الجدار الخلوي صلباً ويتكون من مادة غير حية، في حين أن الخلية الحيوانية العادية يكون جدارها الخلوي مرناً وحياً. للخلايا أشكال وأحجام متنوعة، ولها كذلك وظائف متنوعة. يتراوح حجم الخلايا من البكتريا المتناهية الصغر التي لا ترى حتى بالمجهر الضوئي إلى اكبر خلية وحيدة معروفة، ألا وهي بيض النعامة. لخلايا الميكروبات مدى واسع من الأحجام، وبعضها أكبر من الخلايا البشرية.

الجدول 1.4 تصنيف مبسط للكائنات الحية المجهرية

المملكة	الأعضاء	تصنيف الخلية
الحيوانية	المفككات القشريات الديدان واليرقات	حقيقية النواة
النباتية	السرخسيات الأشنة	حقيقية النواة
الطلائعيات	البروتوزوا الطحالب فطريات بكتيريا أشكال طحلبة بدائية	بدائية النواة

تركيب الخليةCell Structure

الخلية هي وحدة بالغة الأهمية لكل الكائنات الحية، وهي الوحدة الأساسية للحياة. تتكون الخلايا من جسم صغير يقاس حجمه بالميكرومترات. وكما أن هنالك نوعين من التصنيف للكائنات الحية الدقيقة حقيقية النواة وذات النواة البدائية كذلك يوجد نوعان من الخلايا حقيقية النواة والخلايا ذات النواة البدائية. تتكون البكتريا أو الكائنات أحادية الخلايا من خلايا ذات نواة بدائية، وهي خلايا أبسط نسبياً من الخلايا حقيقية النواة، والتي تُكَوِن كل الكائنات الأخرى

ما عدا البكتريا. يقدم الشكل 1.4 رسماً توضيحياً مبسطاً للخلية.

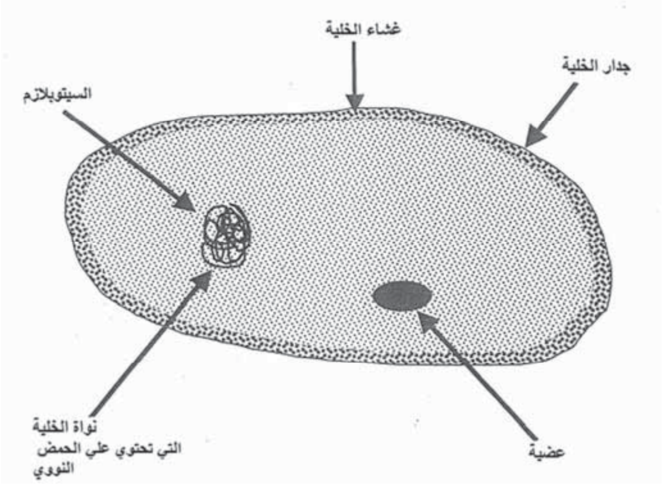
نَصِف فيما يلي خلايا حقيقية النواة. كما سنقدم وصفاً مفصلاً لخلايا البكتريا ذات النواة البدائية في جزء لاحق من هذا الفصل.

يمكن أن تحتوي الخلايا حقيقية النواة على غشاء خلوي، ونواة، وسايتوبلازم، وميتوكندريا، ورايبوزوم، وجدر خلوية، وحويصلات، وكلوروبلاست.

- **غشاء الخلية** (الغشاء السايتوبلازمي) – وهو الغشاء الذي يحتوي على الدهون والبروتينات ذات النفاذية الإنتقائية ويحيط بالسايتوبلازم في الخلايا حقيقية النواة وذات النواة البدائية. في معظم خلايا الميكروبات عادة ما يَحِدُّ الغشاء الخلوي بجدار خلوي خارجي. يختلف التركيب الدقيق للغشاء الخلوي في خلايا الميكروبات إعتماداً على النوع، وعلى ظروف النمو، وعمر الخلية.
- **نواة الخلية** – منطقة معينة غير محددة بغشاء، تصنع وتجمع فيها بعض أنواع الحمض النووي على شكل بروتينات نووية تمثل جزءاً من الرايبوزومات.
- **جدار الخلية** – (يوجد في النباتات) هو تركيب قوي يتكون في الغالب من السيللوز ويوفر المتانة والقوة.
- **الكلوروبلاست** – في النباتات، مواقع التخليق الضوئي.
- **السايتوبلازم** – المادة الخلوية الموجودة بين النواة والغشاء الخلوي.
- **الشبكة الإندوبلازمية** – نظام معقد من الأنابيب، والحويصلات، والأكياس في الخلايا، يكون لها في بعض الأحيان إرتباط مع الرايبوزومات.
- **الميتوكندريا** – (التي عادة ما تسمي " مصدر الطاقة " في

الخلية) وهي عضية (تركيب متخصص داخل الخلية) يتم فيها انتاج جزيئات أي تي بي (ATP) الحاملة للطاقة من خلال عملية التنفس الهوائي.

- **الرايبوزومات** – هي جزيئات دقيقة توجد ملتصقة على الشبكة الاندوبلازمية أو بصورة حرة في السايتوبلازم وهي موقع تصنيع البروتين.
- **الحويصلات** – وهي حجيرات متنوعة توجد محاطة بغشاء داخل الخلية.



الشكل 1.4 المكونات الرئيسية للخلية

البكتريا Bacteria

بسبب تنوعها، فإن حتى مجرد تقديم تعريف وصفي لما يعتبر كائناً بكترياً، يمكن أن يكون أمراً بالغ الصعوبة. من ضمن هذه التعميمات التي يمكن أن تطلق على كامل المجموعة أنها أحادية الخلية، وذات نواه بدائية، ونادراً ما تستخدم عملية التخليق الضوئي، وأنها تتكاثر بالإنقسام الثنائي.

توجد البكتريا في كل مكان في البيئة. البكتريا موجودة في التربة، وفي الماء، وفي الهواء. كما توجد أيضا في داخل/وعلى أجسام الكائنات الحية –بما في ذلك البشر. معظمها لا يسبب المرض، فهي ليست ممرضة. والعديد منها يقوم بوظائف مفيدة وضرورية لحياة الكائنات الأخرى الأكبر حجماً.

وعلى الرغم من ذلك، فعندما نفكر في البكتريا بصورة عامة، فإننا عادةً ما نفكر في الضرر الذي تحدثه. ففي الماء، على سبيل المثال، يعتبر **التلوث البكتيري** أخطر أنواع التلوث المائي الذي يمثل خطراً مباشراً على صحة الإنسان، وهو واحد من أسباب أهمية البكتريا للمياه ومياه الصرف الصحي للمختصين. فلأولئك الأشخاص المكلفين بتزويد العامة بمياه صحيه، قابلة للشرب، وخالية من البكتريا المسببة للمرض، تمثل البكتريا تحدياً مستمراً (الجدول 2.4).

الجدول 2.4 الكائنات البكتيرية المسببة للأمراض والتي توجد في المياه الملوثة

الكائن الحي	المرض
سالمونيلا التيفويد	حمى التيفويد
سالمونيلا	العدوى بالسالمونيلا
الشيغيلة	إعتلال الجهاز الهضمي
العطيفة الصائمية	إعتلال الجهاز الهضمي
الإشريكية القولونية	إعتلال الجهاز الهضمي، إعتلال الجهاز البولي

وفي ما يخص ضبط البكتريا المسببة للمرض، يجابه إختصاص مياه الصرف الصحي وتخصص معالجة المياه بالتحدي نفسه. تحتوي مياه الصرف الصحي عادةً على كميات ضخمة من الكائنات الحية الدقيقة، وتشمل هذه البكتريا، والفيروسات، والبروتوزوا، والديدان.

وعلى الرغم من أن مياه الصرف الصحي تحتوي على الملايين من البكتريا في المليمتر المكعب الواحد، إلا أنه، تحت ظروف متحكم بها، يمكن للبكتريا أن تساعد على تدمير الملوثات في مياه الصرف الصحي. ففي هذه العملية تقوم البكتريا بتثبيت المادة العضوية (عمليات تنشيط المواد الصلبة الحيوية"الأوحال") وبذا تساعد في سير عملية المعالجة كما هو مخطط لها – أي أن تنتج (دفقا لا يفرض أي احتياجات مفرطة للأوكسجين على الجسم المستقبل.)

ما مدى معرفتنا بالبكتريا؟ How Well Do We Know Bacteria?

لقد جعل القضاء على المرض من البكتريا محط إهتمام كبير من قبل المجتمع العلمي. وهنالك المزيد لهذا الإهتمام والجهد الضخم المصاحب له، أكثر من مجرد البحث المتواصل لفهم البكتريا المسببة للأمراض والتغلب عليها. فما كل البكتريا مضرة للبشر. بعضها، على سبيل المثال، ينتج مواد (مضادات الحيوية) تساعدنا في محاربة المرض. وبعضها يستخدم للتحكم في الحشرات التي تهاجم المحاصيل. كما أن للبكتريا تأثيراً على الدورة الطبيعية للمادة. تعمل

البكتريا على زيادة خصوبة التربة، الأمر الذي يزيد من احتمالية إنتاج مزيد من الطعام. ومع التزايد المستمر في تعداد البشر في العالم. فإن زيادة إنتاجية الغذاء ليست أمراً هيناً.

أمامنا الكثير لنتعلمه. لأننا لا زلنا مشغولين بأخذ الملاحظات وتجميع الحقائق، محاولين ما أمكن ربط واقعة بأخرى، مفتقدين أي أساس لنظريات كبيرة موحدة. ولمعظم العمليات التعليمية، فإن إكتساب المعرفة عن البكتريا أمر بطئ وعملية تجرى بتأنٍ. وبإكتساب المزيد من المعرفة عن البكتريا يمكن أن نقلل من آثارها السلبية المحتملة ونستغل أنشطتها المفيدة.

أشكال، وهيئات، وأحجام، وتنظيمات الخلايا البكترية Forms،Shapes ، and Arrangments of Bacterial Cells،Sizes

توجد البكتريا في ثلاثة أشكال: شكل عصوي طويل وتدعى العصويات (bacilli)، وشكل مستدير، أوكروي وتدعى المكورات (cocci)، أو شكل حلزوني ملتف وتعرف بالبكتريا الحلزونية (spirilla). ويمكن لهذا الشكل الأخير أن يكون صلباً أومرناً (spirochaete). تتباين أطوال البكتريا ذات الشكل العصوي بشكل كبير؛ ويمكن أن تكون لها نهايات مربعة، أو مستديرة أو مستدقة، ويمكن أن تكون قادرة على الحركة أوغير قادرة على ذلك. كما قد توجد البكتريا المكورة في شكل خلايا منفردة، أوعلي شكل أزواج، أوفي شكل رباعيات، أو على شكل سلاسل، أو في تجمعات غير منتظمة. أما البكتريا اللولبية والملتفة فتوجد على شكل حلزوني رقيق القوام، وعلى شكل عصوي وملتوي. انظر الشكل(4.2).

تقاس أحجام الخلايا البكتيرية بالميكرونات، أو الميكرومترات ويرمز لها بالرمز µ حيث أن 1 ميكرون= 001,0 أو 1/1000 من المليمتر. يصل طول خلية بكتيرية عصوية عادية إلى 2 ميكرون طولاً وحوالي 7,0 ميكرون عرضاً. يتغير حجم كل خلية بمرور الزمن خلال فتره النمو والموت.

يظهر ترتيب الخلايا البكتريا، عند رؤيتها بالمجهر الضوئي على شكل خلايا (منفردة) منفصلة أوعلى شكل مجموعة من الخلايا. كما يمكن أن تبدو على شكل أزواج، أوسلاسل، أومجموعة من الرباعيات، أومكعبة، أو في شكل كتل، تنتج سلاسل المكورات عند التصاق الخلايا بعد انقسامات متكررة على مستوى واحد، يلاحظ هذا النمط في جنسي إنتروكوكس ولا كتوكوكس. أما جنس سارسينا من المكورات فينقسم إلى ثلاثة مستويات، ينتج حزماً مكعبة مكونة من ثماني خلايا (ثمانيات). وتتباين أشكال الخلايا العضوية، خصوصا نهايتها العضوية، فقد تكون مسطحة أو على شكل سيجار، ومستديرة، أومتفرعة. وفي حين توجد العديد من العصيات بشكل منفرد، فقد يتضاعف العديد منها بعد الانقسام لتشكل أزواجاً أوسلاسل (انظر الشكل 2،). تفيدنا هذه التشكيلات المميزة في التعرف إلى البكتريا.

تراكيب سطح الخلية البكتيرية والمشتملات Bacterial Cell Surface Structure and Cell Inclusions

يمكن دراسة تراكيب الخلية بشكل أفضل في العصويات (انظر الشكل 3.4). تذكر أن الخلايا قد تتباين بشكل كبير في تركيبها وفي تكوينها الكيميائي، ولهذا السبب لا توجد بكتريا نموذجية.

ملحوظة: يظهر الشكل 3.4 خلية بكترية عامة، فليست كل البكتريا تمتلك الخصائص الموضحة في هذا الشكل، ولبعض البكتريا خصائص غير موضحة في هذا الشكل.

الكبسولة أو العلبة Capsule الكبسولات البكتيرية (إنظر الشكل 3.4) هي تراكمات منتظمة من مادة جيلاتينة على الجدر الخلوية، على عكس **طبقات الوحل** (وهي إفراز مائي يلتصق بجدار الخلية بشكل غير وثيق وعادة ما يرشح إلى داخل الخلية). فهي تراكمات غير منظمة من مادة جيلاتينية شبيهة. وعادة ما تكون الكبسولة سميكة بما يكفي لترى بالمجهر الضوئي العادي (كبسولة كبيرة)، في حين لا ترى الكبسولات الأدق سمكاً إلا بالمجهر الالكتروني.

يتحدد إنتاج الكبسولات إلى حد كبير من خلال الجينات بالإضافة إلى الظروف البيئية، ويعتمد على وجود أو عدم وجود الإنزيمات المحللة للكبسولة وعوامل النمو الأخرى. وتختلف الكبسولات عن بعضها في تركيبها، وتتكون عادة من الماء، كما تشمل مكوناتها العضوية السكريات المعقدة، وعلى المواد المحتوية على النتروجين، وعديدات الببتيد (polypeptides).

للكبسولات فوائد عديدة للبكتريا التي تنمو في موطنها الطبيعي. فهي، على سبيل المثال، تساعدها على منع الجفاف، ومقاومة البلعمة من قبل خلايا المضيف البلعمية، وتمنع العدوى باللواقم البكترية، كما تسهل إلتصاقها بأسطح الأنسجة في النباتات والحيوانات المضيفة أو أسطح الأجسام الصلبة في البيئات المائية.

يرتبط تكون الكبسولة عادة بالإمراضية. أما على الجانب الإيجابي، فإن السكريات المعقدة المفرزة يتم استخدامها للأغراض الصناعية. ففي الصناعات الغذائية، على سبيل المثال، تستخدم السكريات المعقدة كعوامل في تكوين مادة الجل (الهلام).

الأسواط Flagella

تمتلك عدد من أنواع البكتريا القدرة على الحركة، وتعزى هذه القدرة على الحركة المستقلة عادة لتركيب معين، وهو السوط (ويجمع على أسواط). واعتماداً على النوع، فإن الخلية قد يكون لها سوط واحد (وحيدة السوط (Monotrichous)، أو سوطين على كل من الجانبين (ثنائية السوط Amphitrichous)، أو باقة من السياط على أحد، أوكلا الجانبين، كما يمكن أن تتوزع الأسواط على كامل سطح الخلية (حولية الأسواط Pertrichous).

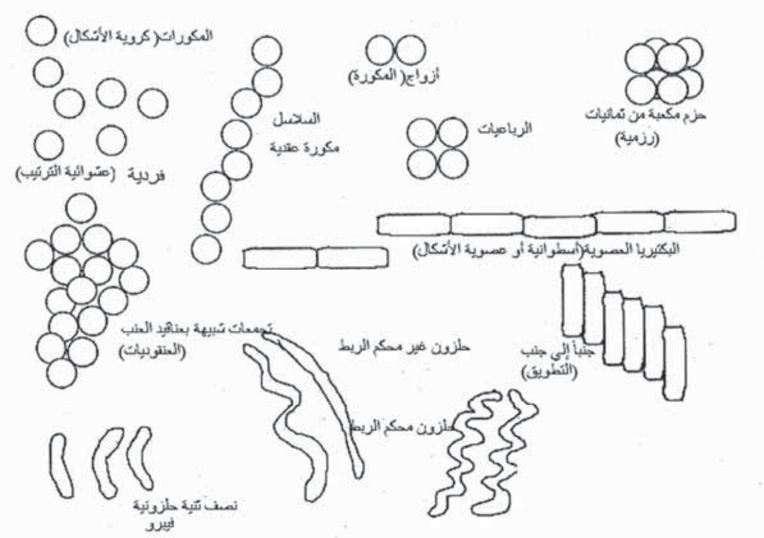
الأسواط هي زوائد خيطية، تمتد نحو الخارج من الغشاء السايتوبلازمي والجدار الخلوي. وهي تراكيب حركية دقيقة السمك، وصلبة، يصل عرضها إلى 20 نانومتر، وطولها إلى ما بين 15 و20 مايكرومتر.

تستفيد البكتريا من الأسواط بعدة طرق، فهي تستطيع زيادة تركيز المواد المغذية أوتقليل تركيز المواد السامة قرب الأسطح البكتيرية وذلك بإحداث تغيير في معدل تدفق السوائل. وتستطيع هذه السياط أيضاً أخذ الكائنات السوطية إلى أماكن تتمكن فيها من إنشاء مستعمرات. وتكمن الفائدة الرئيسية للكائنات السوطية في مقدرتها على الهرب من المناطق التي قد تكون مضرة بها.

الجدار الخلوي Cell Wall

يعتبر الجدار الخلوي الصلب المكون التركيبي الرئيسي لمعظم الكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة. تشمل احدى أهم وظائف الجدار الخلوي على توفر الحماية للبروتوبلاست الهش من التحلل الإسموزي، وتحديد شكل الخلية، والعمل كطبقة نفاذة تستبعد الجزئيات الكبيرة وعدد من مضادات الحيوية، ولعب دور في تنظيم إمتصاص الأيونات وتوفير دعامة صلبة للأسواط.

قد تتباين الجدر الخلوية للأنواع المختلفة من ناحية التركيب، والسمك، والتكوين الكيميائي. يمثل الجدار الخلوي ما بين 20%–40 % من وزن البكتريا الجاف.



الشكل 4.2 الأشكال والهيئات البكتيرية

غشاء البلازما (غشاء السايتوبلازم) Plasma Membrane (Cytoplasmic Membrane)

يحد غشاء البلازما الهيولى المكون من البروتينات الدهنية بالجدار الخلوي من الجهة الخارجية ؛ وهو الحاجز الحاسم الذي يفصل داخل الخلية من خارجها. يبلغ سمك الغشاء من 7–8 نانومتر ويمثل 10%–20% من وزن البكتريا

الجافة، ويتحكم في مرور كل المواد من وإلى الخلية. يحشى الوجه الداخلي والخارجي بدهن محب للماء، بينما يحتوي الجزء الداخلي على الدهون الكارهة للماء. يتحكم الغشاء في دخول المواد عن طريق التصفية، والشحنة الكهربية. فغشاء البلازما هو موقع الشحنة السطحية للبكتريا.

بالإضافة إلى العمل كحاجز إسموزي ينظم مرور المواد سلبياً من وإلى الخلية، فإن غشاء الخلية يشارك في النقل النشط للمواد المختلفة إلى الخلية البكترية. ففي داخل الغشاء توجد العديد من المجموعات الكيميائية الفعالة جداً والتي تقود المواد الداخلة إلى المواطن الملائمة للتفاعلات اللاحقة. يوفر هذا النظام للنقل النشط فوائد معينة للبكتريا، تشمل القدرة على المحافظة على وضع أيوني ثابت في وجود تراكيز أيونية مختلفة. كما يشارك نظام نقل الغشاء الخلوي في إخراج النفايات وفي إفراز البروتينات.

السايتوبلازم Cytoplasm

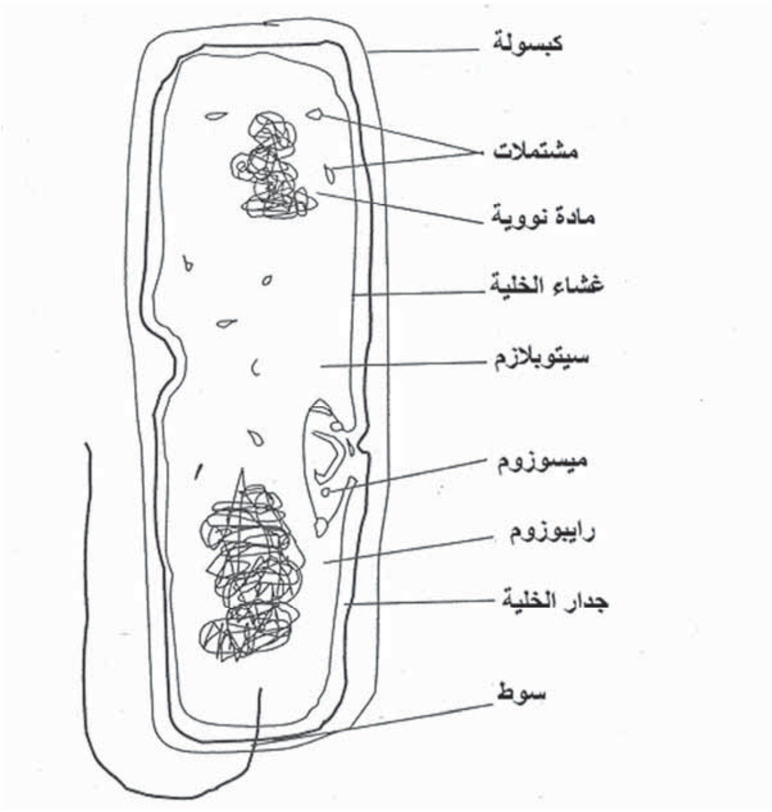
يوجد في داخل الخلية تركيب مكوّن من خليط معقد من المواد يُدعى السايتوبلازم، ويُحّد الساتيوبلازم بغشاء الخلية. والسايتوبلازم هو سائل مائي يحتوي على الرايبوزومات، والأيونات، والإنزيمات، والمغذيات، ودقائق التخزين (تحت ظروف معينة)، ونواتج النفايات، والجزئيات المختلفة المرتبطة بتخليق، وإستقلاب الطاقة، وصيانة الخلية.

الميزوسوماتMesosomes

إحدى التراكيب الخلوية الداخلية الشائعة الوجود في السايتوبلازم. وهي عبارة عن إنبعاجات من غشاء البلازما على شكل أنابيب، أوحويصلات، أوصفائح. وهي موجودة في البكتريا موجبة الغرام وسالبة الغرام، على الرغم من أنها أكثر وفرة في الأولى.

لا زالت الوظيفة الدقيقة للميزوسومات غير معروفة. يعتقد عدد من العلماء

الأحياء الدقيقة أنها تنتج حينما يقوم العلماء بعملية التثبيت الكيميائي للبكتريا بغرض رؤيتها تحت المجهر الضوئي.



الشكل 3.4 خلية بكتيرية

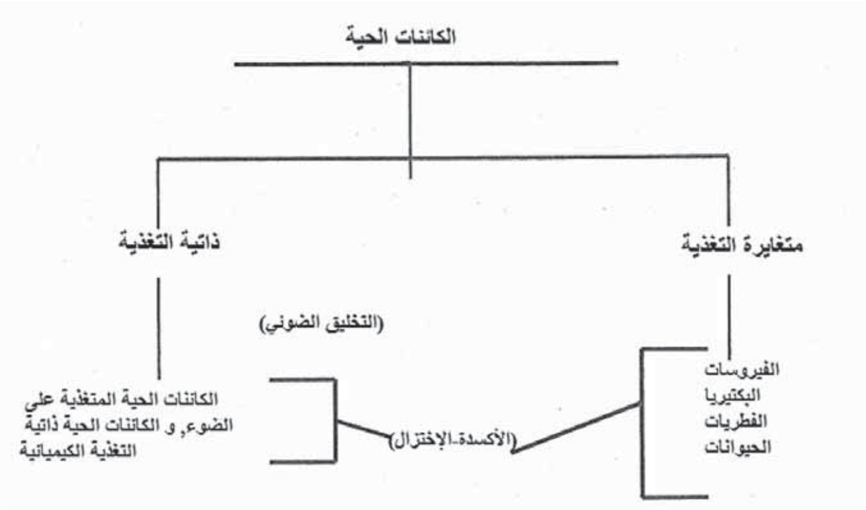
شبه النواة (الجسم النووي أوالمنطقة النووية)
Nucleoid (Nuclear Body or Region)

تعتبر المنطقة النووية في الخلايا بدائية النواة غير متطورة، على النقيض من الخلية حقيقة النواة. وتفتقد الخلية ذات النواة الكاذبة إلى نواة محددة، فوظيفة النواة يقوم بها شريط واحد طويل مزدوج من الحمض النووي منقوص الأوكسجين تم طيّه بفعالية ليناسب منطقة شبيهة النواة. ترتبط **شبيهة النواة**

بالغشاء البلازمي. ويمكن أن يوجد أكثر من شبيهة نواة واحدة عندما يحدث الانقسام الخلوي بعد مضاعفة المادة الوراثية.

الرايبوزوماتRibosomes

يعج السايتوبلازم بالرايبوزومات. وهي أجسام صغيرة مستديرة الحجم، تتكون من الحمض النووي وتلتصق بالغشاء البلازمي بشكل غير محكم. يقدر أن الرايبوزومات تمثل 40% من الوزن الجاف للبكتريا، ويمكن للخلية الواحدة أن تمتلك حوالي 10000 من الرايبوزومات. إن الرايبوزومات هي موقع تصنيع البروتينات وهي جزء من جهاز الترجمة.



الشكل 4.4 الكائنات الحية ذاتية ومتغايرة التغذية وطرق تحصلها على الطاقة

المشتملات (دقائق التخزين) Inclusions (Storage Granules)

يلاحظ وجود دقائق التخزين أو الأجسام الضمينية داخل الخلايا البكترية. بعض الأجسام الضمينية غير محاطة بغشاء وتوجد حرةً في السايتوبلازم، في حين يوجد بعضها الآخر محاطاً بغشاء من طبقة واحدة بسمك 2- إلى 4 نانومتر. تنتج عدد من البكتريا بوليمرات يتم تخزينها في هذه الدقائق داخل السايتوبلازم.

دقائق فولتين أودقائق عديدات الفوسفات هي أجسام ضمينية مكتظة بالمادة العضوية، ويمكن ملاحظتها في بعض الأنظمة البكتيرية. ويعتقد أنها تعمل كمخازن للفوسفات (وهو مكون أساسي للأحماض النووية)، كما يبدو أن لها علاقة بإستقلاب الطاقة. كما تظر هذه الدقائق أثر التغيير اللوني، فهي تظهر بدرجة لونية مختلفة عن الصبغة التي أُستخدمت عليها.

في مقدور عدد من الكائنات كاذبة النواة أن تؤكسد وتراكم عنصر الكبريت في شكله الحر داخل الخلية.

تبقى الدقائق المحتوية على عنصر الكبريت وحده عند توفر زيادة في مغذيات الطاقة. تختفي الدقائق تدريجياً عند أكسدة الكبريت إلى كبريتات.

التكوين الكيميائي Chemical Composition

يؤدي النمو الطبيعي للخلية البكترية في حالة وفرة المغذيات إلى خلية ذات تكوين كيميائي محدد. يتضمن هذا النمو، مع ذلك، زيادة متناسقة في كتلة أجزائها المكونة، وليس زيادة في الكتلة الكلية وحدها.

تتكون البكتريا عموماً من الماء (حوالي 80%) ومن مادة جافة (20%) تحتوي المادة الجافة على مكونات عضوية (90%) ولا عضوية (10%). تستخلص كل العناصر الضرورية للبروتوبلاست من البيئة السائلة. وإذا كانت هذه البيئة فقيرة في العناصر الحيوية المهمة، فإن الخلية ستظهر نمطاً ملحوظا من عدم النمو.

الاستقلاب (الأيض) Metabolism

يشير الإستقلاب إلى مقدرة البكتريا على النمو في أي بيئة. وتشير العمليات الإستقلابية إلى التفاعلات الكيميائية التي تحدث في الخلايا الحية. في هذه العملية يعمل الأيض البنائي (Anabolism) على بناء مكونات الخلية، ويقوم الأيض الهدمي (Catabolism) بتفكيك أوتغيير مكونات الخلية من شكل إلى آخر.

تتطلب التفاعلات الأيضية طاقة. وكذلك الحركة وتناول المغذيات. تتحصل العديد من البكتريا على الطاقة عن طريق معالجة المواد الكيميائية من البيئة عبر عملية التخليق الكيميائي. في حين تحصل أنواع أخرى من البكتريا على الطاقة من ضوء الشمس عبر عملية التخليق الضوئي.

التخليق الكيميائي Chemosynthesis

يدعى تصنيع المواد العضوية مثل مغذيات الطعام، بإستخدام طاقة التفاعلات الكيميائية بالتخليق الضوئي. تسمى البكتريا التي تحصل على الكربون من ثاني أوكسيد الكربون بالبكتريا ذاتية التغذية. وتسمى البكتريا التي تحصل على الكربون من المركبات العضوية بالبكتريا متغايرة التغذية.

البكتريا ذاتية التغذية Autotrophic Bacteria

هي البكتريا التي تمتلك القدرة على تصنيع المركبات العضوية المطلوبة للنمو من المركبات الغير العضوية عن طريق الضوء أو أي مصدر آخر للطاقة. فالبكتريا ذاتية التغذية قادرة على استخدام (تثبيت) ثاني أوكسيد الكربون لتشكيل المركبات العضوية المعقدة وذلك لتلبية احتياجاتها من الكربون.

البكتريا متغايرة التغذية Heterotrophic Bacteria

تُعّد معظم البكتريا غير ذاتية التغذية. فهي غير قادرة على إستخدام ثاني أوكسيد الكربون كمصدر رئيسي للكربون، ويجب أن تعتمد على وجود مركبات كيميائية مختزلة وأكثر تعقيداً (غالبا ما تكون مستخلصة من الكائنات الأخرى) لإمدادها بالكربون. تسمى هذه البكتريا التي تتطلب مركبات كربونية معقدة بالبكتريا متغايرة التغذية. تستخدم البكتريا متغايرة التغذية وإلى مدى واسع مصادر الكربون المختلفة – وتشمل الأحماض الدهنية، والكحولات، والسكريات، والمواد العضوية الأخرى. وتنتشر البكتريا متغايرة التغذية بشكل واسع في البيئة، وتشمل كل الأنواع المسببة للمرض في البشر، والحيوانات والنباتات.

التصنيف Classification

لا يعد تصنيف الميكروبات، بما في ذلك البكتريا، أمراً يسيراً. يعقد من هذه العملية التنوع الضخم للكائنات الحية الدقيقة، والتي تتباين بشكل كبير في خواصها الأيضية والتركيبية. إذ إن بعضها أشبه بالنباتات، بينما يشبه بعضها الآخر الحيوانات، وهنالك أيضا مجموعة منها تختلف بشكل كامل عن كل أشكال الحياة الأخرى.

وكمثال لعملية التصنيف، ضع في إعتبارك أنشطة البكتريا: يمكن أن تصنف البكتريا **كهوائية** أو**لا هوائية**، أو **إختيارية**. ولابد للبكتيريا الهوائية من الأوكسجين لتبقى حيةً. وعلى الطرف الآخر فإن الأوكسجين نفسه يمثل مادة سامة للبكتريا اللاهوائية. في حين تستطيع البكتريا الإختيارية العيش في بيئات هوائية أوغير هوائية.

هنالك أشكال كبيرة جداً من البكتريا، مثلها مثل الكائنات الأخرى، مما يفرض الحاجة إلى نظام تصنيف جيد وتطبيق منظم للقواعد المصممة لزراعة، وعزل البكتريا والتعرف إليها. إن هذه الإجراءات شديدة التخصص وعلى درجة من التفصيل التقني. وبشكل أساسي فإن البكتريا يتم فرزها بناء على الملاحظة والتجربة ولحسن الحظ فقد تم تأسيس معايير للتصنيف، استناداً إلى الملاحظة والخبرة للمساعدة في عملية الفرز. ومن هذه المعايير:

- الشكل
- الحجم والتركيب
- الأنشطة الكيميائية
- أنواع المواد الغذائية التي تحتاجها
- أشكال الطاقة التي تستخدمها
- الظروف الطبيعية التي تتموفيها
- مقدرتها على الأمراض (ممرضة أوغير ممرضة)

- سلوكها عند التصبيغ بصبغات معينة.

وباستخدام المعايير المذكورة في هذه القائمة، وبناء على الملاحظة، والخبرة يمكن التعرف إلى البكتريا من الأوصاف المنشورة في دليل بيرجي لعلم البكتريا التحديدي.

الفيروسات Viruses

هي جزئيات طفيلية تمثل أصغر العوامل الحية المسببة للمرض والمعروفة للبشر. وهي غير خلوية – ولا تمتلك أي نواة، أو غشاء خلوي أو جدار خلوي. كما تتكاثر داخل الخلايا الحية (المضيف)، وهي خاملة تماماً خارج الخلايا الحية، ولكنها تستطيع البقاء في البيئة. يمكن لفيروس منفرد أن يصيب المضيف. وبالنسبة للحجم، فإن حجمها يتراوح ما بين 20–200 نانومتر من ناحية القطر، وهي أصغر بحوالي الضعف مقارنة بالبكتريا. هناك أكثر من 100 نوع من الفيروسات التي – تخرج من البشر عبر القناة الهضمية ويمكنها أن تجد طريقها إلى مصادر مياه الشرب. ففي مياه المجاري يوجد في المتوسط ما بين 100–500 وحدة عدوى هضمية في كل 100 مل. وإذا لم يتم قتل الفيروسات من خلال عمليات المعالجة المختلفة فإن تركيزها يتخفف بالمجرى المستقبل، إلى 0.1– 1 وحدة عدوى فيروسية/ 100 مل. يجعل هذا التركيز المنخفض تحديد مستويات الفيروسات في الإمداد المائي أمراً بالغ الصعوبة. ولأن معظم الإختبارات تجرى على عينات تقل عن 1 مل، يتوجب تحليل حوالي 1000 عينة للعثور على وحدة فيروسية. ولهذا السبب فإن تركيز العينات عن طريق الترشيح أو عملية الطرد المركزي يسبق إخضاعها للتحليل.

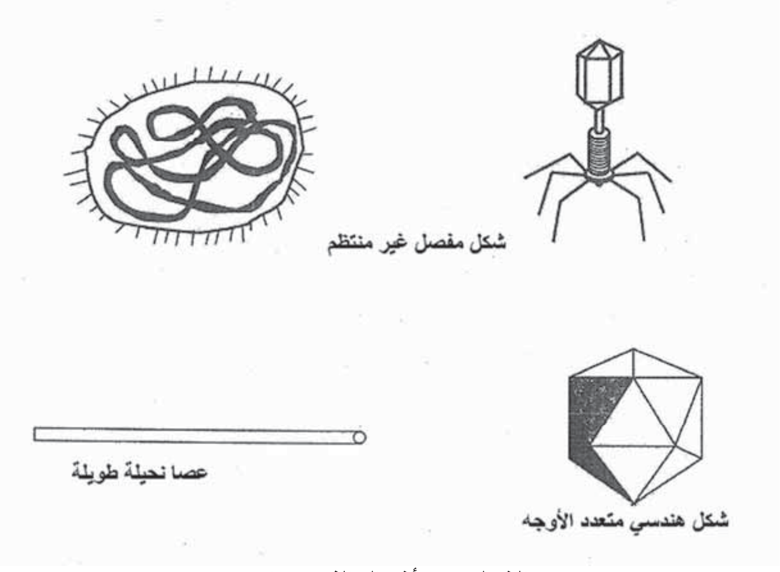
تختلف الفيروسات عن الخلايا الحية بثلاثة طرق على الأقل : (1) فهي غير قادرة على التكاثر بشكل مستقل عن الخلايا أو على القيام بالإنقسام الخلوي، (2) تمتلك نوعاً واحداً من الأحماض النووية (3) لديها تركيب خلوي بسيط.

يمكن التحكم في الفيروسات عن طريق عملية الكلورة، ولكن ينبغي أن يتم

هذا بإستخدام تراكيز أعلى من تلك اللازمة لقتل البكتريا. تشمل بعض الفيروسات التي تنتقل عبر الماء فيروس التهاب الكبد A.

العاثي أو لاقم البكتيريا Bacteriophage

يشير لويس توماس في كتابه *حيوات الخلية* إلى انه عندما "يصاب البشر بداء الدفتريا فإنهم يواجهون عدوى فيروسية ولكن ليس للبشر ". فعندما يصاب البشر بالفيروس المعدي للدفتريا، فإن البكتريا داخل الجسم البشري هي التي تصاب في الحقيقة – " يتعثرون في مشكلة أخرىن" (1974، 76) فالسم الذي تنتجه بكتريا الدفتريا العصوية ناتج إصابة البكتريا بلاقم البكتريا.



الشكل 5.4 أشكال الفيروسات

إن عاثي أو لاقم البكتريا (phage) هو أي كائن فيروسي تكون البكتريا مضيفاً له. معظم البحث الذي تم في لواقم البكتريا تم في بكتريا الإشريكية القولونية، وهي بكتريا سالبة الغرام تشغل إهتمام مختصي علم البيئة مثل

مشغلي المياه ومياه الصرف الصحي وذلك لأنها نوع خطر من العصويات القولونية.

لا يمتلك الفيروس أي بنية خلوية يمكن من خلالها أن يقوم بعمليات أيضية أوعمليات تكاثر. ومع ذلك، وعندما يدخل جينوم (مجموع الكروموزومات) خلية حية (مثل البكتريا) " فبإمكانه أن يمسك بزمام الأمور " ويدير تشغيل العمليات الخلوية الداخلية. وعندما يحدث هذا الأمر، فإن جينوم اللاقم، وعبر عمليات المضيف التصنيعية، يتمكن من إنتاج نسخ من نفسه ويتحرك ليصيب مُضيفين أخرين. وقد يكون مُضيف لاقم البكتريا نوعاً واحداً من البكتريا أو قد تكون عدة أجناس بكتيرية.

أهم الصفات المستخدمة لتصنيف لواقم البكتريا هي خواص الأحماض النووية، والمظهر الخارجي للواقم. قد تحتوي الفيروسات البكترية على الحمض النووي منقوص الأوكسجين أو الحمض النووي، ويمتلك معظمها شريطين من الحمض النووي الريبي منقوص الأوكسجين. تم التعرف إلى عدد من التراكيب المختلفة عند اللواقم. تظهر هذه اللواقم تنوعاً أكبر في الشكل من المجموعات الفيروسية الأخرى. (يعرض الشكل 5.4 التراكيب المظهرية الخارجية الأساسية الفيروسية المختلفة). يمتلك فيروس T2 اللاقم صفتين مظهريتين واضحتين: الرأس (قفيصة متعددة الأسطح) والذيل. ويعتمد تأثير اللاقم على نوعه والمضيف، وبدرجة اقل على الظروف. فبعض اللواقم تتكاثر داخل المضيف وتحلل (تدمر) المضيف. وعندما يتحلل المضيف (يموت وتنفجر الخلية)، تتحرر اللواقم الجديدة.

الفطريات Fungi

ومفردها (فطر) هي مجموعة بالغة الأهمية، ومثيرة من الميكروبات حقيقة النواة، والهوائية والتي تتراوح من الخميرة أحادية الخلية إلى عفن يتكون من

كتلة خيوط فطرية. لا تعتبر الفطريات من النباتات بل هي شكل متميز من الحياة ذو أهمية عملية وبيئية كبيرة. تعتبر الفطريات مهمة بسبب أنها، مثلها مثل البكتريا، تقوم بإستقلاب المادة العضوية المتحللة. وهي الكائنات الحية الأساسية التي تقوم بتحليل الكربون في المحيط الحيوي. تستطيع الفطريات، خلافاً للبكتريا، أن تنمو في بيئات منخفضة الرطوبة ومحاليل منخفضة الأس الهيدروجيني، مما يساعدها على تحليل المادة العضوية.

تمثل الفطريات مجموعة كبيرة من الكائنات والتي تشمل مجموعات متنوعة مثل فطريات العفن المائية، والعفن المخاطي، والأنواع الأخرى من العفن، وفطر عش الغراب، وفطريات الكرات المنتفخة، والخميرة. ولأنها تفتقر إلى صبغة الكلوروفيل (لذا لا تعتبر نباتات)، فلابد لها أن تحصل على تغذيتها من المواد العضوية. فهي توجد إما كطفيليات تعيش داخل أو على حيوان ما، أو بشكل أكثر شيوعاً، على شكل رماميات، تتحصل على المواد الغذائية من المادة العضوية الميتة. تنتمي الفطريات لعشيرة الفطريات، ويطلق على دراستها علم الفطريات.

في كتابه "*علم الأحياء لمهندس الصحة العامة*"، يشكومكنلي من أن دراسة علم الفطريات موجهة أساساً لأغراض التصنيف، وليست موجهة للكيمياء الحيوية الفعلية للفطريات. ويذهب أبعد من ذلك ليشير إلى أنه وبالنسبة للمشتغلين في حقل الصحة العامة فإن من المهم "إدراك " أهمية الفطريات للصحة... وستأتي الخطوات الأخرى لاحقاً" (1962,4). ولطلبة علم البيئة، فإن فهم دور الفطريات في ما يتعلق بتنقية المياه أمر ضروري. كما يحتاج إختصاص علم البيئة إلى معرفة وفهم مقدرة الفطريات على العيش والأداء تحت ظروف متطرفة، مما يجعلها عنصراً مهماً خلال المعالجة الحيوية لمياه الصرف الصحي وفي عملية التحلل التي تحدث خلال عمليات حرق النفايات.

توجد الفطريات في شكل خلايا منفردة، أو في شكل كتلة من الخيوط الفطرية. وهي كبيرة الحجم، بعرض 5–10 ميكرون عرضاً، ويمكن التعرف عليها بالمجهر الضوئي. والخواص المميزة للمجموعة هي أنها : (1)غير قادرة على التخليق الضوئي؛ (2) تفتقر لتمايز الأنسجة؛ (3) تمتلك جدراً خلوية من السكريات المعقدة (4) تتكاثر عن طريق الأبواغ (جنسياً ولا جنسياً).

التصنيف Classification

- تنقسم إلى خمس مجموعات:
- الفطريات المخاطية (Myxomycetes)
- الفطريات الطحلبية، أوالفطريات المائية (Phycomycetes or aquatic fungi)،
- الفطريات الكيسية (Ascomycetes)
- الفطريات البازيدية، أوفطريات الصدأ، وفطر السناج، وعش الغراب (Basidiomycetes)
- الفطريات الإضافية أوغير الكاملة (Fungi imperfecti)

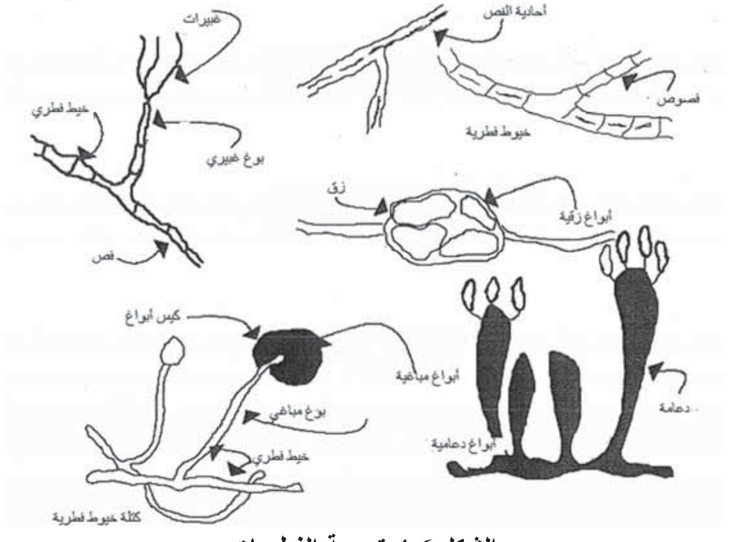
ورغم أن الفطريات تتوزع على هذه المجموعات الخمس وحدها، فهنالك أكثر من 80000 نوع معروف من الفطريات.

التعرف إلى الفطريات Identification

تختلف الفطريات عن البكتريا في مناحٍ عدة، تشمل حجمها، ونموها البنيوي، وطرق تكاثرها، وتنظيمها الخلوي. كما تختلف عن البكتريا في منحى آخر مهم : فتفاعلاتها الكيميائية الحيوية (وعلى خلاف البكتريا) غير مهمة لتصنيفها، وبدلاً من ذلك فإن تراكيبها تستخدم لهذا الغرض. يمكن فحص الفطريات مباشرة، أو تعليقها في سائل ومن ثم صبغها

وتجفيفها، ومعاينتها تحت المجهر الضوئي، حيث يمكن التعرف إليها عن طريق المظهر الخارجي (اللون، القوام، وإنتشار الأصباغ) لكتلة الخيوط الفطرية.

أحد الأدوات المتاحة لدارسي علم البيئة والمختصين في عملية التعرف إلى الفطريات هي المصطلحات المميزة المستخدمة في علم الفطريات. تمر الفطريات عبر عدة أطوار خلال دورة حياتها، فصفاتها التركيبية تتغير مع كل طور جديد. راجع المصطلحات المعرفة في القائمة التالية). وللمزيد من المساعدة في تعلم كيفية التعرف إلى الفطريات، لاحظ المصطلحات المعرفة ورسومها التوضيحية (الشكل 6.4).



الشكل 4.6 تسمية الفطريات

تعريف المصطلحات المهمة Definition of Key Terms

1. **الخيط الفطري (Hypha – pl. hyphae)** – تركيب إسطواني ينمو من الأطراف وقد يتشعب إلى عدة فروع. من الممكن رؤية

أحد الأمثلة المعروفة جداً لمدى امتداد الخيوط الفطرية في فطر أرموريللا أوستوي (Ara malloria ostyae) (Aramalloria ostyae) والذي إكتشف في العام 1992 في ولاية واشنطن. فهذا الفطر على وجه التحديد قد تم التعرف إليه كأطول الكائنات الحية، فهو يغطي حوالي 1500 فدان. كما أن هنالك تخمينات حول شبكة الخيوط الفطرية لهذا الكائن تذهب إلى تقدير عمره بحوالي 500 إلى 1000 سنة.

2. **كتلة الخيوط الفطرية** (Mycelium) تتكون من عدة خيوط متنوعة ويمكن أن تصبح كبيرة بحيث ترى بالعين المجردة.
3. **البوغ** – الطور التكاثري للفطر.
4. **الخيط الفطري المفصل (Septate hyphae)** – عندما يقسم الخيط بجدر عرضية
5. **الخيوط الفطرية غير المفصلة** (Nonseptate hyphae) – خيوط فطرية من دون جدر عرضية
6. **الأبواغ المباغية (Sporangiospores)** – الأبواغ التي تتكون داخل كيس يدعى حافظة الأبواغ. تتصل هذه الأبواغ مع سوق تسمى حاملات الأبواغ (Sporangiophores).
7. **الغبيرات** (Conidia) – أبواغ لاجنسية وتتكون على خيوط فطرية متخصصة تدعى بحاملة الغبيرات (Conidio phores). هنالك نوعان من الغبيرات كبيرة وصغيرة.

8. الأبواغ الجنسية (Sexual Spores)– تنقسم الأبواغ في شعبة الفطريات (Amostigomycota) إلى أربعة أقسام بحسب أنواع الأبواغ الجنسية الموجودة بها (1) دون الشعبة Zygomycotina – تتكون من خيوط فطرية غير مفصلية وأبواغ زيجية (Zygospores)؛

وتتكون الأبواغ الزيجية عند اتحاد المادة النووية بخيطين فطريين من سلالتين مختلفتين. (2) الفطريات الزقية Ascomycotina – يشار إلى هذه المجموعات بالفطريات الزقية، ولها خيوط مفصلية. الأبواغ الزقية هي الأبواغ الجنسية المميزة لهذه المجموعة، وتنتج داخل كيس (Sac) يدعى زق. يندرج مرض البياض والبنسلين ذو الأمراض الثمرية الطويلة إلى هذه المجموعات. (3) الفطريات الدعامية (البازيدية) Basidiomycotina– وتشمل فطر عش الغراب، والفطر النفاث المسبب لمرض صدأ الحبوب، والفطر المسبب لمرض السناج، والفطريات الورقية (التي توجد على الأشجار الميتة). تعرّف الأبواغ الجنسية لهذه المجموعة، بالأبواغ الدعامية (البازيدية)، والتي تنتج تركيباً خاصاً يشبه الهراوة ويدعى الدعامة (Basidia) (4) الفطريات غير المكتملة (Deutermycotina) أو (Fungi imperfecti) وتشمل كل الفطريات التي تفتقر إلى طور جنسي.

9. التبرعم (Bndding)– العملية التي تتكاثر من خلالها الخميرة.
10. البوغ البرعمي (Biastospore) – الأبواغ المتكونة بالتبرعم.

تزريع الفطريات Cultiviation of Fungi

يمكن أيضاً توزيع الفطريات ودراستها من خلال طرق التزريع. ولكن يتحتم استخدام أوساط تحد من نمو الأنواع البكترية، عند تزريع الفطريات– فالتحكم بالنمو البكتيري أمر بالغ الأهمية. يمكن إنجاز هذا الأمر باستخدام نوع معين من أوساط التزريع يقلل من الأس الهيدروجيني للوسط (عادة أغار سابورد أو أغار المالتوز) وذلك لمنع نمو البكتريا. يمكن أيضاً إضافة المضادات الحيوية للوسط لمنع النمو البكتيري.

التكاثر Reproduction

كجزء من دورتها التكاثرية، تنتج الفطريات أبواغاً صغيرة جداً يسهل تعلقها في الهواء، وتنتشر بشكل واسع بفعل الرياح – تساهم الحشرات والحيوانات في نشر هذه الأبواغ أيضا. يمثل لون، وشكل، وحجم، الأنواع وسيلة مساعدة للتعرف إلى نوع الفطر.

تتكاثر الفطريات جنسياً أولاً جنسياً. يتم التكاثر الجنسي عبر إندماج نواتين متوافقتين، تكون معظم الفطريات تراكيب مخصصة لحمل الأبواغ الجنسية أو اللاجنسية (الأجسام الثمرية). بعض الفطريات ذاتية التلقيح، في حين أن بعضها الآخر يتطلب تزاوجاً خارجياً مع نوع مختلف ولكنه متوافق من التالوسات النامية (الخيوط الفطرية). تتكاثر معظم الفطريات لاجنسياً. غالبا ما تكون الأبواغ اللاجنسية ذات صبغة براقة وتعطي المستعمرة لوناً مميزاً (أخضر، أو أحمر، أو بنياً، أو أسود، أو أزرق – الأبواغ الزرقاء لفطر البنسلين موجودة في الجبنة الزرقاء أو جبنة روكفورت).

يحدث التكاثر اللاجنسي بعدة طرق :

1- قد تتبرعم الخلايا لتنتج كائنات جديدة. وهذه طريقة شائعة جداً في الخميرة.

2- يمكن أن تنقسم الخلية الأم إلى خليتين.

3- يمثل إنتاج الأبواغ الطريقة الأكثر شيوعاً للتكاثر اللاجنسي (أُنظر الشكل 7.4). هناك عدة أنواع من الأبواغ اللاجنسية :

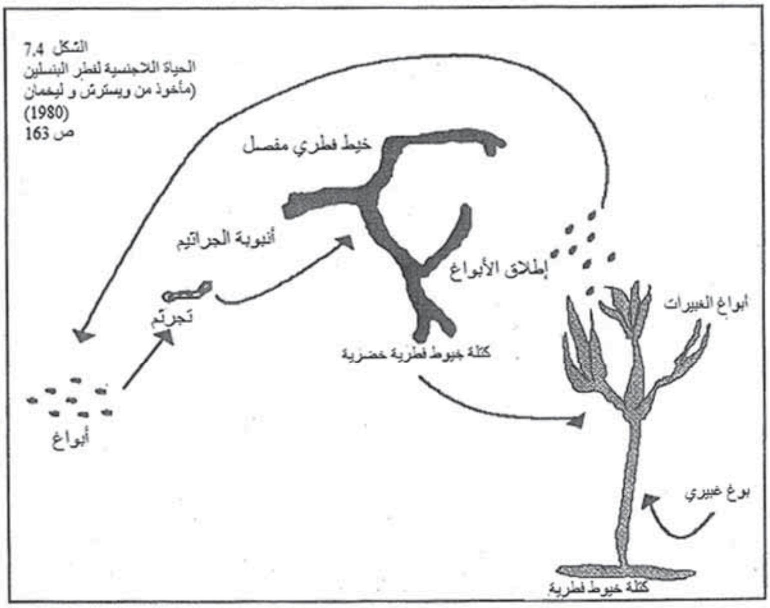
أ – يمكن للخيط الفطري أن ينقسم ليكون خلايا (أبواغ مفصلية) والتي تتصرف كالأبواغ.

ب – إذا تكون جدار سميك قبل انفصال الخلايا فإنها تعرّف بالأبواغ الكلاميدية (Chlamydospores).

ج – إذا نتجت الأبواغ عن طريق التبرعم تعرّف بالأبواغ البرعمية (Blastospores).

د – إذا نتجت الأبواغ داخل حافظة بوغية (Sporanqium) (كيس)، فإنها تدعى الأبواغ الدعامية (Sporangio spores).

هـ – إذا نتجت الأبواغ على جانب أوحافة الخيط الفطري فإنها تدعي الأبواغ الغبيرية (Conidio spores).



الشكل 7.4
الحياة اللاجنسية لفطر البنسلين
(مأخوذ من ويسترش و ليهمان
(1980)
ص 163

التغذية والاستقلاب Nutrition and Metabolism

توجد الفطريات حيثما توجد المادة العضوية. تفضل الفطريات المواطن الرطبة وتنمو بشكل أفضل في الظلام. ومعظم أنواعها رمامية (Saprophytes)، تتحصل على غذائها من المادة العضوية الميتة، ويحدث ذلك عندما تفرز عليها الإنزيمات الهاضمة، التي تكسر الجزئيات الخارجية. وهي قادرة على استخدام المادة العضوية الميتة كمصدر للكربون والطاقة. تستخدم معظم الفطريات سكراً من الجلكوز والمالتوز (الكربوهيدرات) والمركبات النتروجينية

لتصنع بروتيناتها واحتياجاتها الأخرى. إن معرفة الفطريات التي تستخدمها الفطريات لتصنيع بروتيناتها والمواد الأخرى التي تحتاجها مقارنة مع ما تستطيع البكتريا تصنيعه أمر مهم للعاملين في الأنظمة البيئية وذلك لفهم متطلبات النمو للكائنات المختلفة.

الطحالب Algae

لا تحتاج أن تكون متخصصاً في علم البيئة لكي تفهم أن الطحالب قد تكون أمراً مزعجاً، فالعديد من البرك، والبحيرات، والأنهار، والمجاري المائية في الولايات المتحدة أو(غيرها) تتعرض لعملية التخثث، وهي عملية إغناء البيئة بالمواد غير العضوية (الفسفور والنتروجين). عند حدوث التخثث، وعندما تنطلق الطحالب الخيطية من نوع كالدونيرا في بركة، أوبحيرة، أومجرى مائي، أو نهر وتصل إلى الضفة، فإن الطحالب تجعل من حضورها النتن، والسام أمراً واضحاً. تمثل الطحالب بالنسبة للإختصاصين مصدر إزعاج وحليف عالي القيمة. ففي معالجة المياه، على سبيل المثال، وعلى الرغم من كونها غير ممرضة، تمثل الطحالب مصدر إزعاج. فهي تنمو بسهولة على جدران الحفر والأحواض، ويمكن لنموها الكثيف أن يسبب إنسداد المداخل والمصافي. كما تفرز الطحالب مواد كيميائية تعطي أحياناً طعماً وروائح غير مرغوبة. وفي الجانب الآخر، في معالجة مياه الصرف الصحي، يمكن أن يكون نمو الطحالب المتحكم به مفيداً لبرك الأكسدة طويلة الأجل، لأنها تساعد في عملية التنقية من خلال عملية إنتاج الأوكسجين.

تعريف المصطلحات Definition of Terminology

1. **طحالب (Algae)**– مجموعة كبيرة ومتنوعة من الكائنات حقيقية النواة التي تفتقر إلى جذور، وسيقان، وأوراق ولكن لديها صبغة الكلوروفيل والأصباغ الأخرى التي تقوم بإنتاج الأوكسجين من عملية التخليق الضوئي.

2. **علم الطحالب** (Phycology أو Algoiogy) – دراسة الطحالب.
3. **الأنثريدات (Antheridium)** – تركيب ذكوري حيث تتكون الحيوانات المنوية.
4. **البوغ الساكن** (Aplanospore) – أبواغ غير متحركة تنتج من حافظة الأبواغ.
5. **قاعي** (Benthic) – الطحالب التي تلتصق وتعيش في قاع جسم مائي.
6. **الإنقسام الثنائي (Binary fission)** – انشطار النواة متبوعاً بانقسام السايتوبلازم.
7. **الكلورويلاست (Choroplaste)** – الجيوب المحتوية على الكلوروفيل والأصباغ الأخرى.
8. **كريسولامينارين** (Chrysolaminarin)– مستودع الكربوهيدرات في الكائنات الحية المنتمية للكريسوفايتا (Chrysophyta).
9. **الدايتومات** (Diatoms) – خلايا دائرية، (بيضاوية) من فصيلة الكريسوفايتا، تمتلك القدرة على التمثيل الضوئي.
10. **السوطيات الدوارة** (Dinophalgellates) – كائنات أحادية الخلية، قادرة على التخليق الضوئي، وهي من فصيلة الطحالب الطلائعية.
11. **الغلاف الخارجي لجدار خلية الدايتومات (Epithecn)** – وهو الجزء الأكبر من الفرستول.
12. **الأيوجلينات** (Englenoids)– تحتوي على صبغتي الكلوروفيل أ، ب والكلوروبلاست، ويمثلها جنس الأيوجلينا.
13. **التشظي** (Fragmentation)– هو نوع من أنواع التكاثر اللاجنسي ينشطر فيه التالوس إلى أجزاء عدة ينمو كل منها على حدة ليكون تالوساً جديداً.

14. **الفرستول** (Frustule) – جدار من طبقتين يحتوي على السيلكا ويميز الدايتومات.
15. **الجزء الداخلي لجدار خلية الدايتومات** (Hypotheca)– وهو الجزء الأصغر من الفرستول.
16. **السطحيات** (Neustonic) – الطحالب التي تنمو على السطح حيث التقاء الماء والهواء.
17. **الأوجونيا** (Oogonia) – الخلايا النمائية – والتي تمثل التراكيب الأنثوية في نظام الطحالب التكاثري.
18. **قشرة الغطاء** (Pellicle)– تركيب يوجد في الأيوجلينات يسمح بدوران وأنثناء الخلية.
19. **بلانكتون نباتي (phytoplankton)** – يتكون من الطحالب والنباتات الصغيرة.
20. **البلانكتون (Plankton)** – عوالق حرة المعيشة، وتتكون أساساً من كائنات مائية مجهرية.
21. **بلانكتوني** (Planktonic) – معلق في الماء وهو على النقيض من القاعيات التي تلتصق على، وتعيش في القاع (قاعي).
22. **داء البروتثيكا (Protothecosis)** – يصيب البشر والحيوانات وينتج من الإصابة بالطحلب الأخضر، بروتوثيكا مويفورمس.
23. **التالوس** (Thallus) – الجزء النامي من الطحلب.

الطحالب – وصف Algae – Description

الطحالب هي نوع من النباتات المائية، ذاتية التغذية تحتوي على الكلوروفيل. تختلف الطحالب عن البكتريا، والفطريات في مقدرتها على القيام بعملية التخليق الضوئي – وهي العملية الكيميائية التي تتطلب استخدام ضوء الشمس، وثاني أوكسيد الكربون، والمغذيات المعدنية الخام. يحدث التخليق الضوئي في

الكلوروبلاست. عادة ما تكون الكلوربلاستات واضحة ومميزة. وهي تتباين في الشكل، والحجم، والتوزيع، والأعداد؛ ففي بعض الأنواع الطحلبية يحتل الكلوروبلاست معظم مساحة الخلية. وعادة ما تنمو قرب سطح الماء وذلك لأن الضوء لا يخترق أعماقاً بعيدة في الماء، وعلى الرغم من أنها ترى بالعين المجردة حينما تكون على شكل كتلة مثل أعشاب البحر، فإن العديد منها مجهري. قد تكون الخلايا الطحلبية متحركةً بواسطة واحد وأكثر من الأسواط، أو تظهر حركة إنزلاقية مثل الدايتومات. وتوجد بشكل شائع في المياه (العذبة، والملوثة، والمالحة) والتي يمكن ان تكون فيها على شكل عوالق (بلانكتونية)، عوالق نباتية، كما يمكن أن تعيش ملتصقة على القاع (قاعية). يعيش القليل من الطحالب على السطح وتدعى هذه بالسطحيات. وتعتبر الطحالب منتجات أولية مهمة في بيئات المياه العذبة والمالحة (بداية السلسلة الغذائية، للكائنات الأخرى). وخلال طور النمو تعمل كمولد مهم للأوكسجين، وتمثل قسماً بارزاً من بلانكتون الماء.

الخواص المستخدمة في تصنيف الطحالب

Characterstics Used in Classifying Algae

تبعاً لنظام الممالك الخماسي لويتيكر (Whittaker)، تنتمي الطحالب إلى سبعة أقسام تتوزع بين مملكتين مختلفتين. وعلى الرغم من ان هناك سبعة أقسام، سنكتفي بمناقشة خمسة منها في هذا الكتاب.

الكلوروفايتا – الطحالب الخضراء (Chlorophyta)

الأيوجليوفايتا – الأيوجلينات (Euglenoids)

الكريسوفايتا – الطحالب – الذهبية – البنية والدايتومات (Chrysophyta)

الفايوفايتا – الطحالب البنية (Phaeophyta)

البايروفايتا – السوطيات الدوارة (pyrrophyta)

يعتمد التصنيف الأساسي للطحالب على الخواص الخلوية. وتستخدم عدة

صفات لتصنيف الطحالب، وتشمل (1) التنظيم الخلوي، وتركيب الجدار الخلوي (2) طبيعة صبغة الكلوروفيل (3) نوع الحركة، إذا وجدت (4) أنواع البوليمرات الكربونية المنتجة والمخزنة(5) التراكيب الجنسية والطرق التكاثرية. يلخص الجدول 3.4 خواص الأقسام الخمسة التي نوقش في هذا الكتاب.

الجدار الخلوي للطحالب Algal Cell Wall

تظهر الطحالب تنوعاً كبيراً في تركيب وكيمياء جدرها الخلوية.

فبعض الجدر الخلوية للطحالب هي تراكيب صلبة، ورقيقة السمك، وتتكون من السيللوز المعدل بإضافة بوليمرات سكرية أخرى. وفي الطحالب الأخرى، يقوى الجدار الخلوي من خلال ترسب كربونات الكالسيوم. في حين تتميز أنواع أخرى بوجود مادة الكايتين (chitin) في جدرها الخلوية. ومما يعقد من تصنيف الطحالب، وجود الأيوجلينات، والتي تفتقر إلى الجدر الخلوية. وفي الدايتومات يتكون الجدار الخلوي من السيلكا. ففرستول (دروع) الدايتومات، مقاومة بشكل كبير للتحلل وتبقى سالمة لفترة طويلة من الزمن، كما توضح لنا سجلات الأحافير.

الكلوروفيل Chlorophyll

إن الصفة الأساسية التي تستخدم للتمييز بين الطحالب والكائنات الحية الأخرى (مثل الفطريات) هي وجود الكلوروفيل وصبغات التخليق الضوئي الأخرى. تحتوي الطحالب كلها على الكلوروفيل. ولكن بعضها يحتوي على صبغات أخرى من الكلوروفيل. يعتبر وجود هذه الصبغات خاصية مميزة لكل مجموعة من الطحالب. وبالإضافة إلى الكلوروفيل، تشمل الصبغات الأخرى الموجودة في الطحالب فوكوزانثين (Fucoxanthin) (بنية)، وزانثوفيل Xanthophyll (صفراء)، وكاروتين (Carotenes) (برتقالية)، وفايكوسيبانين (Phycocyanin) (زرقاء)، والفايكوارثرين (Phycoerythrin) (حمراء).

الحركة Motility

تمتلك الطحالب أسواطاً للحركة (زائدة خيطية). فالأسواط هي عضيات حركية يمكن أن توجد منفردةً في أحد قطبي الخلية، أو في شكل مجموعة. تمثل الأيوجلينات كائنات سوطية بسيطة ذات سوط منفرد. كما تمتلك الكلوروفايتا ما بين إثنين إلى أربعة أسواط قطبية وتمتلك السوطيات الدوارة سوطين يختلفان في الطول. وفي بعض الحالات، تكون الطحالب غير قادرة على الحركة حتى تكون جاميتات (Gametes) متحركة (خلية أحادية Haploid أونواة) أثناء عملية التكاثر الجنسي. لا تمتلك الدايتومات، اي أسواط، ولكنها تتحرك بالإنزلاق.

الجدول 3.4 تلخيص ومقارنة لخصائص الطحالب

مجموعة الطحالب	الإسم الشائع	البنية	الصبغات	المواد التي يخزن فيها الكربون	نوع الحركة	طريقة التكاثر
الكلوروفايتا (Chlorophyta)	الطحالب الخضراء	وحيدة الخلية الى متعددة الخلايا	الكلوروفيل أ وب، والكاروتين، والزانثوفيل	النشا والزيوت	معظمها لا يتحرك	جنسي ولا جنسي
الأيوجليوفايتا (Euglenophyta)	الأيوجلينا ت	متعددة الخلايا	الكلوروفيل أ وب، والكاروتين، والزانثوفيل	الشحوم	متحركة	لا جنسية
الكريسوفايتا (Chrysophyta)	الطحالب الذهبية البنية والدايتوما ت	متعددة الخلايا	الكلوروفيل أ وب، وبعض الكاروتينا ت الخاصة، والزانثوفيل	الزيوت	تتحرك الدايتوما ت بالإنزلاق؛ بينما تتحرك الأخريات بالأسواط	جنسية وغير جنسية

الفايوفايتا (Phaeophyta)	الطحالب البنية	متعددة الخلايا	الكلوروفيل أ وب، والكاروتين، والزانثوفيل	الشحوم	متحركة	جنسية وغير جنسية
البايروفايتا Pyrrophyta	السوطيات الدوارة	متعددة الخلايا	الكلوروفيل أ وب، والكاروتين، والزانثوفيل	النشا والزيوت	متحركة	جنسية وغير جنسية

تغذية الطحالب Algal Nutrition

يمكن للطحالب أن تكون ذاتية التغذية (autotrophic) أو متغايرة التغذية (heterotrophic). ومعظم الطحالب الذاتيّة ضوئية التغذية (photoautotrophic) ولا تتطلب سوى ثاني أوكسيد الكربون والضوء كمصادر رئيسية للطاقة وللكربون ؛ عندما يغيب الضوء، تستخدم الطحالب الأوكسجين. وفي وجود الضوء، تقوم الطحالب بعملية التمثيل الضوئي (photosynthesis). وتستخدم الكلوروفيل والأصباغ الأخرى لإمتصاص طاقة الضوء للحفاظ على خلايا التخليق الضوئي وتكاثرها. تعتبر طبيعة البوليمر المخزون والمصنع نتيجة لإستخدام ثاني أوكسيد الكربون الموجود في الماء، أحد أهم الخصائص المستخدمة في تصنيف مجموعات الطحالب.

تكاثر الطحالب Algal Reproduction

تتكاثر الطحالب جنسياً أو لاجنسياً. وهناك ثلاثة أنواع من التكاثر اللاجنسي : الإنقسام الثنائي، والتكاثر بالأبواغ، والإنشطار. يحدث الإنقسام الأحادي في بعض الطحالب أحادية الخلية، عندما ينقسم السايتوبلازم بعد إنقسام النواة ليكون أفراداً جدداً تُشابه الخلية الأم. تكون هذه الأبواغ أحادية الخلية، وتنمو من دون حاجة إلى الإندماج مع خلايا أخرى. يحدث الإنشطار عندما ينشطر التالوس إلى أجزاء وينمو كل جزء ليكون تالوساً جديداً.

يتضمن التكاثر الجنسي إتحاداً للخلايا؛ حيث تتكون البويضات داخل خلايا نمائية تدعى الأوجونيا (Oogonia) (والتي تمثل التراكيب الأنثوية)؛ بينما تدعى الحيوانات المنوية التي تنتج في الأعضاء الذكورية بالإنثريدات (Antheridia). كما يمكن للتكاثر الجنسي أن يحدث عبر اختزال عدد الكروموزومات و/ أو اتحاد النويات.

خواص انقسام الطحالب Characterstics of Algal Divisions

الكلوروفيل (الطحالب الخضراء) (Chlorophyta)

تنتمي معظم الطحالب الخضراء الموجودة في البرك إلى هذه المجموعة، كما يمكن أن توجد في المياه المالحة والتربة. هناك آلاف أنواع الطحالب الخضراء المعروفة اليوم. والعديد منها أحادي الخلية، وبعضها الآخر يوجد على شكل خيوط عديدة الخلايا، أو مستعمرات متجمعة. تمتلك الطحالب صبغتي الكلوروفيل أ، ب، بالإضافة إلى بعض صبغات الكاروتين، وتخزن الكربوهيدرات على شكل نِشا (Starch). لا يوجد العديد من الطحالب الخضراء على عمق أبعد من 7–10 أمتار، وذلك لأن ضوء الشمس لا يخترق أبعد من ذلك. ولدى بعض الأنواع تراكيب تثبتها على قاع البركة وعلى الأجسام المغمورة غير الحية. تتكاثر الطحالب الخضراء عبر الوسائل الجنسية واللاجنسية.

الأيوجلينات Euglenophyta (Euglenoids)

تمثل الأيوجلينات مجموعة صغيرة من الكائنات الحية الدقيقة أحادية الخلية والتي تمتلك خصائص حيوانية ونباتية. تفتقر الأيوجلينات إلى وجود جدار خلوي، وتمتلك بلعوماً (Gullet)، وهي قادرة على إبتلاع الغذاء واستيعاب المواد العضوية. تفتقر بعض أنواعها إلى الكلوروبلاست. كما توجد في المياه العذبة، والمياه قليلة الملوحة، والمياه المالحة، والتربة الرطبة. تكون خلية الأيوجلينات النموذجية مستطيلة وتُحد بغشاء بلازمي، كما إن غياب الجدار

الخلوي يجعلها مرنة في الحركة. توجد القشرة (pellicle) في الغشاء البلازمي وهي تعطي الطحالب شكلاً محدداً وتسمح للخلية بأن تدور وتنثني. تحتوي الأيوجلينات القادرة على التخليق الضوئي على صبغتي الكلوروفيل أ، ب، ودائما ما تمتلك نقطة حمراء (stigma) حساسة للضوء. تتحرك بعض الأيوجلينات بواسطة الأسواط، ويتحرك بعضها عن طريق حركات الإنقباض والإنبساط. تعتبر السكريات الدهنية الغذاء المميز للأيوجلينات. وتتكاثر عن طريق الإنقسام الخلوي البسيط.

الكريسوفايتا (الطحالب الذهبية البنية) Chrysophyta (Golden Brown Algae)

تعد الكريسوفايتا مجموعة ضخمة – عدة آلاف من الأنواع المختلفة. وتختلف عن الطحالب الخضراء والأيوجلينات في احتوائها على صبغتي الكلوروفيل أ و ج (1) وجود صبغة الفوكوزانثين (Fucoxanthin)، وهي صبغة بنية (2) وقدرتها على خزن الغذاء في شكل زيوت وليوكوسين (Lucosin)، وأحد السكريات المعقدة (3). تبدو هذه الطحالب ذهبية – بنية اللون، بسبب اختلاط صبغة الفوكوزانثين وصبغات الكلوروفيل. كما تتباين الكريسوفايتا في كيمياء الجدار الخلوي والأسواط وتنقسم إلى ثلاثة صفوف أساسية : الطحالب الذهبية البنية، والطحالب الصفراء البنية، والدايتومات.

تفتقر بعض الكريسوفايتا إلى الجدر الخلوية، ويملك بعضها قوالب وأغطية شديدة التعقيد خارج الغشاء البلازمي، مثل الجدر والصفائح والحراشف. تتميز الدايتومات بأنها المجموعة الوحيدة التي تمتلك جداراً خلوياً صلباً من البكتين، والسيللوز، والسيلكون، يتركب من نصفين (الجزء الأعلى (epitheca)، والجزء الأسفل (hypotheca) يدعى الفرستول. كما إن وجود سوطين أمامين أمر شائع في الكريسوفايتا، وبعضها الآخر لا يمتلك أي أسواط.

توجد الغالبية من طحالب الكريسوفايتا على شكل مستعمرات. كما أن التكاثر

اللاجنسي هو الطريقة الغالبة للتكاثر في الدايتومات، في حين يمكن للأشكال الأخرى من الكريسوفايتا أن تتكاثر جنسياً.

تعد الدايتومات مهمةً بصورة مباشرة للبشر، وذلك لأنها تكون معظم البلانكتونات النباتية في الأجزاء الباردة من المحيطات، وهي مصدر الغذاء الرئيسي للأسماك. كما يفهم مشغلو المياه ومياه الصرف الصحي أهميتها إنها تعمل كمؤشر حيوي على تلوث الماء الناتج عن الصناعة. فكمؤشر حيوي يستفاد من قدرتها على إحتمال المتغيرات البيئية مثل الأس الهيدروجيني، والمغذيات، والنتروجين، وتركيز الأملاح، والحرارة.

الفايوفايتا (الطحالب البنية) Phaeophyta (Brown Algae)

بإستثناء قلة تعيش في المياه العذبة، توجد أنواع الطحالب التي تنتمي إلى هذه المجموعة في شكل أعشاب بحرية. وهي مجموعة شديدة التخصص، تتكون من كائنات متعددة الخلية متدلية (Sessile) (ملتصقة وليست حرة الحركة). وتحتوي هذه الصبغات، بصورة أساسية، على الصبغات نفسها الموجودة في الطحالب الذهبية – البنية، ولكنها تظهر اللون البني بسب غلبة الكمية الكبيرة من صبغة الفوكوزانثين والتي تطغى على الصبغات الأخرى. تخزن خلايا الطحالب البنية الغذاء على شكل كاربوهيدرات اللامينارين، وبعض الدهون، وتتكاثر لاجنسياً.

الرودوفايتا (السوطيات الدوارة) Rhodophyta (Dinoflagellates)

تعد السوطيات الدوارة العضو الرئيسي في هذه المجموعة. وتمثل مجموعة متنوعة من الكائنات حقيقية النواة أحادية الخلية. وتتميز بوجود سوطين أو عدم وجودهما. وتحتل هذه المجموعة عدداً من البيئات المائية المختلفة وإن كانت غالبيتها توجد في البيئات البحرية. يملك معظمها جداراً خلوياً ثقيلاً من الصفائح المحتوية على السيللوز. وتخزن الغشاء على هيئة نشأ، ودهون،

وزيوت. تمتلك هذه الطحالب صبغتي الكلوروفيل أ و ج وعدد من صبغات الزانثوفيل. يمثل الإنقسام الثنائي البسيط الطريقة الغالبة للتكاثر، ولكن يمكن ملاحظة حدوث التكاثر الجنسي أيضاً. لقد ناقشنا الملوثات الكيميائية والميكروبية للبيئة المنقولة عن طريق الماء، والتي عادة ما، تؤثر في خيارات معالجة المياه ومياه الصرف الصحي. وفي حين أن الملوثات الكيميائية محدودة، لا ينطبق الأمر ذاته على الميكروبات، فهي كلية الوجود – وهي موجودة في كل مكان. يحتاج ممارس علم البيئة إلى معرفة جيدة تتجاوز الملوثات الميكروبية الشائعة في الأجسام المائية، ونظم معالجة المياه، ومجاري مياه الصرف الصحي إلى تلك الأنواع التي تقطن هواءنا وتربتنا. تحتوي دراسة الحالة 1.4 معلومات عن قلة من الميكروبات الشائعة في هوائنا (لبعضها تفاعل بارز مع مائنا وتربتنا)، خصوصاً الهواء الداخلي؛ سنناقش بعض المشاكل التي تمثلها، وتنعكس على البيئة والصحة.

دراسة حالة 1.4 Case Study

الدقائق المنقولة بواسطة الهواء Airborne Particulate Matter

ترتبط البكتريا، وحبوب اللقاح، والأبواغ النباتية والفطرية، والفيروسات كلها مع الدقائق المنقولة بواسطة الهواء وقد شخصت أجهزة تكييف الهواء ومرطباته كمكان تتركز فيه الكائنات الممرضة ومن ثم تنطلق لاحقاً في شكل هباء حي مركز (aerosols). تتسبب مجموعة متنوعة من الملوثات الأحيائية في أمراض مهمة وأخطار صحية. تشمل هذه العدوى الناتجة من التعرض للفيروسات المحمولة جواً والمسببة لنزلة البرد، وتلك المسببة للإنفلونزا، إلى جانب البكتريا المسببة للسل الرئوي ومرض ليجونير (Legionnaire). كما تشمل الأمراض التنفسية مثل الربو، وحمى جهاز الترطيب (humidifier fever)، والحساسية، وحساسية الأنف المزمنة. تنتج هذه الأمراض من

التعرض للعفن (الفطريات)، والسكريات الفطرية (تتكون من جزئيات جلكوز)، والسموم الفطرية، والإندوتوكسينات البكترية، والمواد المتطايرة البكترية، أو الغبار العضوي. أحد الأمثلة الكلاسيكية على حالات التلوث الأحيائي المعروفة جيداً للهواء الداخلي هي حالة تفشي وباء ليجونير في أولئك الأشخاص الذين حضروا مؤتمر بنسلفانيا لقدامى المحاربين الأمريكيين والذي أنعقد في بنسلفانيا عام 1976. قام مركز ضبط الأمراض بتحقيق شامل في هذه الحادثة وتمكن من عزل الميكروب المسبب لها، وهي بكتريا من نوع ليجونيلا نيموفيليا (Legionella pneumophilia). كما تعرّف المركز على طريقة الإنتقال. وهو الهواء الملوث المحتجز في أحد أجهزة معالجة الهواء التي تعمل في شرفة الفندق. يسبب داء ليجونير أعراضا شبيهة بأعراض الإلتهاب الرئوي. وعلى الرغم من أن لها معدل إصابة منخفض (5%) إلا أن معدل وفياتها أعلى (15-20%).

تنتشر الليجونيلا نيموفيليا بشكل واسع في البيئة، ويمكن عزلها من المياه السطحية والتربة. وهي مقاومة نسبياً للكلور، وتمر عبر معظم أنظمة معالجة المياه. ودرجة الحرارة الأمثل لنموها هي 33° أو أعلى من ذلك. ونتيجة لذلك يمكن أن يحدث نموكبير في أبراج التبريد، ومكثفات التبخر ومسخنات المياه المنزلية، وتلك الموجودة في المعاهد، وفي المنتجعات، وأحواض الاستحمام الدافئة. تصل الليجونيلا إلى إمداد الهواء داخل المباني عبر تيار الهواء الناتج من أبراج التبريد ومكثفات التبخر. وعندما يرتفع مستوى البكتريا، وعندما تتحول بكتريا الليجونيلا نيموفيليا إلى مستنشق (aerosolized)، عندئذ يمكن للوباء أن يهاجم أي مجتمع قابل للإصابة. تشمل عوامل خطورة داء ليجونير، التدخين، ومنتصف العمر، وإستهلاك الكحول، والسفر.

البروتوزوا والكائنات الحية الدقيقة الأخرى
Protozoa and Other Microorganisms

البروتوزوا

البروتوزوا ("الكائنات الأولى") هي مجموعة كبيرة من الكائنات الحية حقيقية النواة (تشمل أكثر من 50,000 نوع معروف من الأنواع التي كيفت شكلها وخليتها بحيث تؤدي دور جسم كامل). والأنواع كلها المنتمية للبروتوزوا أحادية الخلية. وهي عادة ما تفتقد إلى جدر خلوية، ولكنها تمتلك غشاءاً من البلازما يستخدم لإدخال الغذاء وإخراج النفايات. ويمكن أن توجد ككائنات حية منفردة أو مستقلة (على سبيل المثال: الهدبية المتدلية، مثل الفورتسيلا Vorticella sp.) أوتعيش متجمعةً في مستعمرات مثل أنواع الكارشيزوم Charchesium) sp. البروتوزوا كائنات مجهرية إكتسبت اسمها من استخدامها لنفس استراتيجية التغذية المستخدمة من قبل الحيوانات. وغالبيتها غير ضار، ولكن بعضها طفيلي. وبعض أشكالها يملك طورين حياتيين: الطور النشط ويعرف بالتروفوزويت –Trophozoites– (القادر على التغذي)، وطور خامل يعرف بالحويصلة الراقدة (Dormant cysts).

وبإعتبارها كائنات أحادية الخلية وحقيقية النواة فإن البروتوزوا لا يمكن تعريفها بسهولة بسبب تنوعها، وبسبب إرتباطها، في معظم الحالات، ببعضها البعض بشكل غير وثيق. وكما ذكرنا سابقًا، تتميز البروتوزوا عن البكتريا بكونها حقيقية النواة، وإنها عادة ما تكون أكبر حجماً. وتتميز عن الطحالب بأنها تحصل على الغذاء بواسطة تناول المواد العضوية، والفتات، أوكائن طلائعي آخر بدلاً من عملية التخليق الضوئي. يمثل كل عضو من البروتوزوا كائن حياً كاملاً، ويحتوي على كل الإمكانيات المطلوبة لأداء كل وظائف الجسم الأمر الذي يتم في الفقاريات من خلال عدة أنظمة وأعضاء.

ومثلها مثل البكتريا، تعتمد البروتوزوا على الظروف البيئية (مجتمع البروتوزوا

يستجيب بسرعة إلى الظروف الفيزيائية والكيميائية المتغيرة للبيئة)، والتكاثر، وتوفر الغذاء اللازم لوجودها. وتعد من الكائنات الدقيقة الكبيرة الحجم نسبياً، ويتراوح حجمها من 4 ميكرون إلى 500 ميكرون. وبإستطاعتها إستهلاك البكتريا (تحد من نموها) وأن تتغذى على المادة العضوية (تحلل النفايات).

هنالك إهتمام كبير بالبروتوزوا من قبل إختصاصي معالجة المياه؛ وذلك لأن أنواعاً معينة من البروتوزوا يمكن أن تتسبب في حدوث الأمراض. في الولايات المتحدة الأمريكية تعد البروتوزوا الطفيلية قارضيا لامبليا والتي تسبب مرض القارضيا (giardiasis) (سيناقش لاحقاً) من أنواع البروتوزوا المهمة. والنوعان الآخران من البروتوزوا التي تسبب أمراضا تنقل بواسطة المياه هي الأميبا الحالة للنسجُ (*Entamoeba histolytica*) والكريبتوسبوريديا. (Ceyptispiridium sp.)

ولمجابهة المشكلة المتفاقمة للأمراض المنقولة بواسطة الماء، طبقت الوكالة الأمريكية لحماية البيئة قانونها لمعالجة المياه السطحية في 29 يونيو1989. يعزى ذلك جزئياً الى حدوث حالات القارضيا والكريبتوسبوريديا. ويقتضي هذا القانون ترشيح كل إمدادات المياه السطحية كوسيلة للتحكم في أنواع القارضيا (Giardia) والفيروسات المعوية بشكل أساسي. ومنذ تطبيق هذا القانون عرفت الوكالة الأمريكية لحماية البيئة أنواع الكريبتوسبوريديا كعامل من العوامل المسببة للأمراض المنقولة بواسطة الماء.

التصنيف Classification

تنقسم البروتوزوا إلى أربع مجموعات، إستناداً إلى طريقة حركتها. تتحرك الماستيغوفورا (Mastigophora) بواسطة واحد أو أكثر من الأسواط. وتتحرك الهدبيات (Ciliophora) بواسطة زوائد سوطية قصيرة ومعدلة تعرّف بالأهداب(Cilia)، أما الساركودينا (Sarcodina) فتتحرك بواسطة الحركة الأميبية (الأقدام الكاذبة (Psendopodia–)، في حين أن السبوروزوا غير

متحركة. في الجدول 4.4 توضح المجموعات الأربعة، ولكن لأغراض هذا الكتاب فإننا سنكتفي بالمجموعات الثلاث الأولى، حيث نناقش الماستيغوفورا، والهدبيات، والساركودينا بالتفصيل.

الماستيغوفورا (السوطيات) Mastigophora (Flagellates)

يتكون هذا الفصيل من البروتوزوا، في الغالب، من كائنات أحادية الخلية، ويفتقر إلى شكل محدد (يمتلك غشاءاً بلازمياً شديد المرونة يسمح بحركة انسيابيه للسايتوبلازم)، ويمتلك تراكيب شبيهة بالكرباج وتدعى أسواطاً. تستخدم هذه الأسواط للحركة، وكمستقبلات حسية، وتستخدم لإجتذاب الغذاء. تكثر هذه الكائنات الحية في كل من المياه العذبة والمالحة. وتنقسم إلى الماستيغوفورا النباتية، التي يحتوي معظمها على صبغة الكلورفيل، ومن ثم فهي تشبه النبات. يعد نوع الأيوجلينا من الأنواع المميزة للماستيغوفورا النباتية الذي يرتبط مع مستويات عالية أومتزايدة من النتروجين والفوسفات في عملية المعالجة. وتمثل الماستيغوفورا الحيوانية القسم الثاني، فهي تشبه الحيوانات ولا تحمل أية صبغة.

السيليفورا (الهدبيات) Ciliophora (Ciliates)

تعد الهدبيات من الكائنات الأكثر تقدماً وتعقيداً في كل البروتوزوا. تتم حركتها وتحضر الغذاء عبر تراكيب قصيره، شعرية تدعي الأهداب، وتوجد هذه في طور واحد على الأقل من دورة حياة الكائن. توجد ثلاث مجموعات من الهدبيات :السابحات الحرة، والزاحفات، والمسوقة (Stalked). ومعظمها حر المعيشة وهي عادة ما تعيش منفردةً، ولكن قد يعيش بعضها في شكل مستعمرات وبعضها الأخر متدلٍ (sessile). وهي تنفرد، داخل مجموعة البروتوزوا، بوجود نوعين من الأنوية : نواة كبيرة ونواة صغيرة. ترتبط النواة الصغيرة بالتكاثر الجنسي. في حين أن النواة الكبيرة تكون مسؤولة عن الاستقلاب وإنتاج الحمض النووي الريبي اللازم لنمو الخلية ووظيفتها.

الجدول 4.4 تصنيف البروتوزوا

المجموعة	الإسم الشائع	نوع الحركة	التكاثر
ماستيغوفورا Mastigophora	السوطيات	سوطية	لا جنسي
الهدبيات Ciliophora	الهدبيات	هدبية	جنسي عن طريق الإنشطار المستعرض؛ جنسي عن طريق الإقتران
ساركودينا Sarcodina	الأميبيات	الأقدام الكاذبة	جنسي ولا جنسي
سبورزوا Sporozoa	البوغيات	لا تتحرك	جنسي ولا جنسي

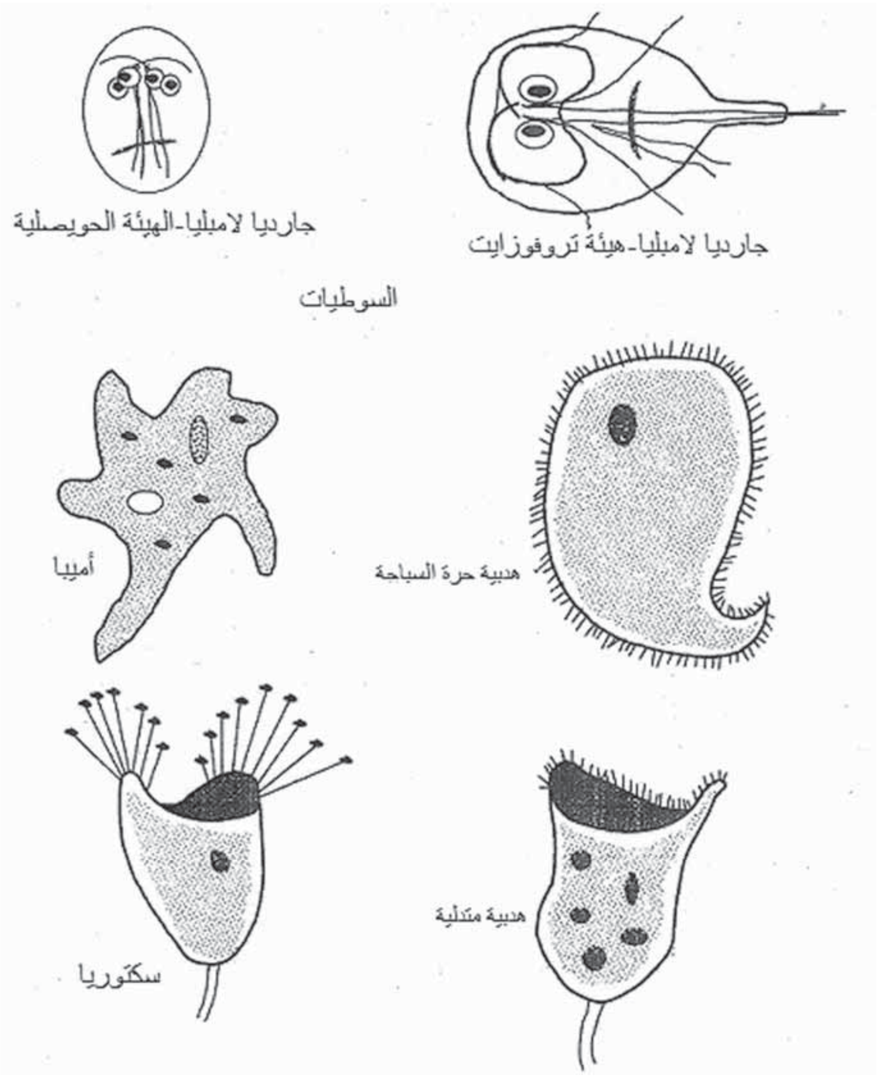
كما أن الهدبيات مغطاة بما يعرف بالقشرة، والتي تعمل كدرع سميك. وفي أنواع أخرى، تكون القشرة رقيقه جداً. عادة ما تكون الهدبيات قصيرة متراصّة في صفوف. يمكن مقارنة تركيبها بالأسواط بإستثناء أن الأهداب عادة ما تكون أقصر. يمكن للأهداب أن تغطي سطح الحيوان، أو يمكن أن تكون محصورة في مناطق معينة.

الساركودينا Sarcodina

يتميز أعضاء هذه المجموعة بعدد أقل من العضيات، كما إن تركيبها أبسط من تركيب الهدبيات والسوطيات. تتحرك الساركودينا بواسطة بروزات بروتوبلازمية تدعى بالأقدام الكاذبة (Pseudopodia). ويشار إلى تكوين الأقدام الكاذبة بالحركة الأميبية. تشتهر الأميبا بهذا النوع من الحركة (انظر الشكل 8.4). تزود الأقدام الكاذبة هذه الكائنات بوسيلة للحركة والتغذية، وذلك عندما يمد الكائن أقدامه الكاذبة ليحيط بالغذاء. تتغذى معظم الأميبا على الطحالب، والبكتريا، والبروتوزوا، والمفككات.

ولنعينك على فهم عملية حيوية محددة وأهميتها في الاستخدام الفعلي، سنقدم

لك وصفاً لعملية معالجة مياه الصرف الصحي بواسطة عمليات تنشيط المواد الصلبة الحيوية في دراسة الحالة 2.4.



الشكل 8.4 الأميبا وأنواع البروتوزوا الأخرى

Case Study 2.4 دراسه الحالة

عمليات تنشيط المواد الصلبة الحيوية Activated Biosolids Process

(معالجة مياه الصرف الصحي) (Wastewater Treatment)

بدأت عمليات تنشيط المواد الصلبة الحيوية "الوحل أو الحمأة (sluge)" في بريطانيا. واشتق هذا الإسم من إنتاج كتلة منشطة من الكائنات الحية الدقيقة القادرة على تثبيت المحتوى العضوي للنفايات في وسط هوائي. عملية تنشيط المواد الصلبة النشطة هي عملية أحيائية يحدث فيها إحتكاك مع البكتريا،والبروتوزوا، والفطريات، والكائنات الحية الصغيرة الأخرى مثل المفككات والديدان الخيطية. تعتبر البكتريا المجموعة الأكثر أهمية في الكائنات الحية الدقيقة، فهي المسؤولة عن النشاط التركيبي والوظيفي للمواد الصلبة الحيوية النشطة (الندف –Floc–). وفي هذه العملية، لابد من وضع البكتريا والكائنات الأخرى في إحتكاك مع المادة العضوية في مياه الصرف الصحي. يتم هذا عبر المزج السريع بواسطة خلاطات كبيرة، وتعزز العملية عن طريق التهوية. يعمل التحريك الإستثارة والتهوية يداً بيد لمزج المواد الصلبة الحيوية الراجعة مع النفايات السائلة من المعالجة الأولية، وذلك للحفاظ على المواد الصلبة الحيوية النشطة في شكل معلق، ولتوفير الأوكسجين للتفاعلات الكيميائية الحيوية الضرورية لتثبيت مياه الصرف الصحي.

تجسد عملية تنشيط المواد الصلبة الحيوية بالنمو المتعاقب للبروتوزوا ودقائق الندف الناضجة. يتم التعرف إلى هذا التعاقب من خلال النوع الغالب من البروتوزوا الموجودة. ففي بداية عملية تنشيط المواد الصلبة الحيوية (أو التعافي من حالة الإنتكاس) تكون الغلبة للأميبا. وباستمرار العملية (من دون مقاطعه أو إنتكاس) تبدأ مجتمعات صغيرة من البكتريا في النمو بنمط لوغاريثمي، يتحول بإزدياد تعدادها إلى (خليط سائل mixed liquor). وعندما يحدث هذا،

تتحول الغلبة إلى السوطيات. وعندما تصل المواد الصلبة الحيوية إلى عمر ثلاثة أيام، تبدأ دقائق ندف متفرقة بالتشكل، وتزداد أعداد البكتريا. وفي هذه النقطة تصبح الغلبة للهدبيات حرة السباحة. وتستمر العملية. وتبدأ دقائق الندف بالثبات وتأخذ أشكالا غير منتظمه وتظهر نمواً خيطياً، حينها تصبح الغلبة للهدبيات الزاحفة. وفي النهاية، تنمو دقائق الندف الناضجة، وتزداد في الحجم في وجود أعداد كبيرة من الهدبيات الزاحفة والمسوقة. وعندما يحدث هذا تكون عملية التعاقب قد بلغت نهايتها.

يفصّل تعاقب البروتوزوا وتكون دقائق الندف الناضجة حدوث أطوار النمو في خطوات متدرجة. ويحدث هذا الأمر أيضا عندما يستند تعاقب البروتوزوا على عوامل أخرى مثل الأوكسجين المذاب وتوفر الغذاء.

قد تكون الطريقة الأفضل، على الأرجح، لفهم تعاقب البروتوزوا بالإعتماد على الأوكسجين المذاب في توفر الغذاء، هي أن ننظر إلى أحواض التهوية الموجودة في منشأآت معالجة مياه الصرف الصحي باعتبارها" مجرى داخل حاوية". وبإستخدام النظام الرمّي (Saprobity system) لتصنيف الأطوار المختلفة لعملية تنشيط المواد الصلبة والحيوية وعلاقتها بعملية التنقية الذاتية التي تحدث في المجرى، يمكنك أن ترى علاقة واضحة بين العمليتين إستناداً إلى كمية الأوكسجين المذابة المتاحة والإمداد الغذائي. وسيساعدك الشرح التالي على فهم هذه العملية.

يتنقى المجرى ذاتياً ويستقر بعد مسافة. بمعنى أن المجرى (ذو المحتوى القليل من الأوكسجين المذاب والغذاء) ينساب من نقطة التلوث، ثم يستقر. في حوض التهوية يتم تثبيت النفايات إستناداً إلى الوقت (عمر المواد الصلبة الحيوية)، وليس المسافة. أي حالة موصوفة في النظام الرمي توجد أيضاً في حوض التهوية بإستثناء الطور الأخير.

في المجرى، يمكن التعرف إلى عدد المناطق واضحة التلوث حسب درجه

تلوثها، ومحتواها من الأوكسجين المذاب، وأنواع المؤشرات الحيوية الموجودة. تشمل المناطق المستهدفة لوصف مدى هذه الحالات:

1- المنطقة كاملة الرمِيةِ (Polysaprobic)- هي النقطة في المجرى التي يحدث فيها التلوث ويقل الأوكسجين المذاب.

2- المنطقة أ متوسطة الرمية (Alpha Mesoprobic)- النقطة في المجرى التي يحدث فيها تلوث بمقدار كبير ويكون مستوى الأوكسجين المذاب فيها منخفضاً.

3- المنطقة ب متوسطة الرمية (Beta mesoprobic)- في المجرى التي يكون فيها الأوكسجين متوسطاً ويزداد فيها تركيز الأوكسجين المذاب.

4- المنطقة قليلة الرمية (Oligosaprobic)- النقطة التي يكون فيها التلوث منخفضا ومستويات الأوكسجين المذاب شبه طبيعية.

5- المنطقة منعدمة الرمية (Xenosaprobic) - النقطة في المجرى التي ينعدم فيها التلوث ويكون مستوى الأوكسجين فيها طبيعياً.

وبإستثناء المنطقة الأخيرة (منعدمة الرمية) تشابه المناطق، وظروف التلوث ومحتوى الأوكسجين المذاب المرتبط بها البيئة داخل أحواض التهوية الخاصة بالمواد الصلبة الحيوية المنشطة.

التنافس من اجل الغذاء في أنظمة الوحل المنشط
Competition for food in Activated Sludge Systems

إن أي تغيير في الأعداد النسبية للبكتريا في عملية تنشيط المواد الصلبة الحيوية يرافقه تغيير في تعداد ذلك الكائن الحي. فتناقص البكتريا يزيد من التنافس بين البروتوزوا ويتسبب في تعاقب المجموعات السائدة من البروتوزوا.

تعتمد درجه نجاح أو فشل البروتوزوا في إصطياد البكتريا على عدة عوامل. فعلى سبيل المثال، تتمتع البروتوزوا ذات المقدرة الحركية المتطورة بالقدرة على

إصطياد المزيد من البكتريا. كما إن طرق التغذية الإنفرادية للبروتوزوا مهمة للتنافس على البكتريا، ففي بداية عملية الوحل المنشط، تكون الأميبا والسوطيات أول مجموعات البروتوزوا التي تظهر بأعداد كبيرة. ومما يساعدها على البقاء في ظل وجود كميات قليلة من البكتريا، هو كون إحتياجاتها من الطاقة قليلةً مقارنه بأنواع البروتوزوا الأخرى. ولأن هنالك أعداداً قليلة من البكتريا، ينخفض التنافس على الجزيئات الذائبة. ولكن، وبزيادة أعداد البكتريا، تصبح هذه الأنواع من البروتوزوا غير قادرة على المنافسة على الغذاء المتاح. حينها تدخل المجموعة الثانية من البروتوزوا إلى المشهد: البروتوزوا حرة السباحة.

تستفيد البروتوزوا حرة السباحة من الأعداد الكبيرة للبكتريا وذلك لأنها مجهزه بطرق أفضل لتجميع الغذاء من الأميبا والسوطيات. لا تعد هذه السابحات الحرة مهمة فقط بسبب شهيتها غير المحدودة للبكتريا، ولكن بسبب أهميتها في تكوين الندف. وذلك من خلال إفرازها للسكريات العديدة، والبروتينات المخاطية "الميوكوبروتينات" (mucoproteins) التي يتم إمتصاصها من قبل البكتريا، فهي تجعل البكتريا قابلة للإلتصاق وذلك من خلال التغرية الأحيائية (الالتصاق الأحيائي –biological agglutination–)، فتلتصق ببعضها البعض، وأهم من ذلك تلتصق البكتيريا بالندف. تُجَهز الكميات الكبيرة من الندف للإزالة من النفايات السائلة الثانوية حيث ترجع إلى أحواض التهوية أوتبدد.

تعقب الهدبيات الزاحفة والمتدلية الهدبيات السابحة، وتستبدل الهدبيات حرة السباحة جزئياً بسبب المستوبات المتزايدة للندف الناضج والذي يعوق حركتها. تمثل البيئة الناتجة من وجود الندف الناضج بيئة أكثر ملاءمة لإحتياجات الهدبيات الزاحفة والمسوقات. كما تساعد هذه الأنواع في تكوين الندف وذلك من خلال إضافة وزن لدقائق الندف، ومن ثم سهولة إزالتها.

تعد البروتوزوا عضواً مهماً في مجتمع الكائنات الحية الدقيقة المرتبط بعملية

تنشيط العمليات الصلبة الحيوية في معالجة مياه الصرف الصحي. فهي لا تكتفي بإستهلاك، ومن ثم إزالة البكتريا من الوحل المنشط النفايات السائلة الثانوية، بل تساعد أيضا في عملية النترجة. وبالإضافة إلى ذلك، تعمل البروتوزوا كمتغيرات تشير إلى سلامة الوحل ومدى جودة النفايات السائلة الناتجة. فمن خلال البحث البسيط والتعرف على مجتمعات البروتوزوا الموجودة في المواد الصلبة الحيوية المنشطة، وبتحديد ما إذا كان مستوى التحميل (أي مستوى الكائن الحي الدقيق (المستهلك) الى النفايات (الغذاء) مستوى صحيح)، مقبولاً أو غير مقبول، ممكناً. فوجود نوع معين من البروتوزوا يمكن أن يشير إلى ما إذا كانت العملية تسير بشكل صحيح أولاً. كما تشير التباينات في البروتوزوا إلى التغييرات التي تحدث في قوة وتكوين مياه الصرف الصحي. إن أهمية استخدام البروتوزوا كمتغيرات تؤشر على صحه المواد الصلبة الحيوية وجودة النفايات السائلة تستحق أن يؤكد عليها. ولنوضح كيف تستخدم المؤشرات للبروتوزوا لتحديد جودة تشغيل العملية، سنقدم المتغيرات التالية:

- تعد المواد الصلبة الحيوية صحيةً عندما يلاحظ وجود أنواع كبيرة ومختلفة من الهدبيات الزاحفة والمسوقة. تدل مثل هذه الظروف خبير مياه الصرف الصحي إلى أن العملية تنتج نفايات سائلة عالية الجودة ذات طلب كيميائي حيوي على الأوكسجين يتراوح من 1 إلى 10 ملغم / ل.
- تعد المواد الصلبة متوسطة في حالة غلبة المجموعات الثلاث من الهدبيات. وعندما يحدث هذا فإنه يدل على أن النفايات السائلة ذات جوده مُرضية. وذات طلب كيميائي حيوي على الأوكسجين يتراوح من 11 إلى 30 ملغم / ل.
- تعد المواد الصلبة الحيوية رديئة إذا ما كانت الغلبة للبروتوزوا حرة السباحة والسوطيات. وعادة ما تكون النفايات السائلة متعكرة وذات

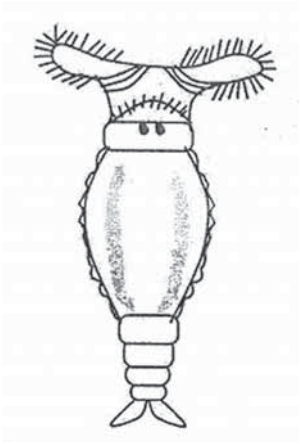
جودة منخفضة يصاحبها طلب كيميائي حيوي على الأوكسجين يزيد مستواه عن 30 ملغم / ل.

يمكن أن تستخدم هذه المؤشرات على جودة النفايات السائلة بطرق أخرى. فأي تغيير ملحوظ من الأنماط المذكورة يمكن أن يشير إلى أن عمر الوحل كبير جداً و/ أو وجود مستويات غذائية مفرط (النتروجين أو الفوسفات). في حين أن غياب أو عدم وجود البروتوزوا (وجود أعداد قليلة جداً) في عمليات الوحل المنشط يمكن أن يشير إلى مشاكل في العملية. وعلى سبيل المثال، وعندما يكون تعداد البرتوزوا قليلاً جداً أو منعدماً فإن نسبة الغذاء/الكائنات الحية يمكن أن تكون عاليةً جداً (حالة الحمل الزائد).

العوامل البيئية المؤثرة على تعداد البروتوزوا

Environmental Factors Affecting Protozoan Population

يتأثر تعداد، ونشاط، البروتوزوا في المواد الصلبة الحيوية المنشطة وعمليات المعالجة الأخرى بالعوامل البيئية، يعد توفر البكتريا غير السامة، أمراً مهماً. كما إن مستويات الأوكسجين المذابة مهمة، على الرغم من أن البروتوزوا عادة ما تكون هوائية. (يعتبر مستوى الأوكسجين المذاب مؤشراً على درجة تلوث النظام) كما تؤثر السميات مثل المركبات الكيميائية التي تخفض التوتر السطحي على الغشاء البلازمي في أنظمة الإنزيمات لدى البروتوزوا؛ كذلك يمكن لاستخدام المركبات الكيميائية التي تخفض التوتر السطحي أن يؤدي إلى نمو أنواع من البكتريا التي تؤذي البروتوزوا. وكذلك يعد مستوى الأس الهيدروجيني (pH) أمراً مهماً. فمعظم البروتوزوا لديها مدى لأعلى وأدنى أس هيدروجيني أمثل. قد يؤدي التغير في الأس الهيدروجيني إلى تفضيل نوع معين من البروتوزوا على الأنواع الأخرى. كذلك يؤثر سقوط أمطار غزيرة على البروتوزوا، يمكن أن يخفض تعدادها بشكل ملحوظ من خلال الغسيل الهيدروليكي (Hydranlic wastout).



الشكل 9.4 الفيلودينا، من المفككات الشائعة.

المفككات Rotifers

تمثل المفككات مجموعة محددة جيداً من أصغر وأبسط الكائنات الحية الدقيقة عديدة الخلايا، وتوجد، إلى حدّ ما، في كل المواطن المائية. وهي هوائية بشكل كامل يتراوح حجمها من حوالي 0.1 إلى 0.8 نانومتر. وترتبط أحياناً مع العمليات الأحيائية الهوائية التي تحدث في منشآت معالجة مياه الصرف الصحي، حيث ترى وهي تقتات على البكتريا أو توجد ملتصقةً على الأوساخ باستخدامها ذيلها المشقوق أو سنبكها (toe) (أنظر الشكل 9.4). تعزز المفككات من نشاط الكائنات الحية الدقيقة ومن التحلل، كما تعزز من نفاذ الأوكسجين إلى الوحل المنشط والمرشحات التقطيرية، كما تعيد تدوير المعادن في كليهما (في الوحل المنشط ومرشحات التقطير). تتخذ المفككات أشكالاً عديدة – كروية، كيسية، و/أو دودية. يتكون شكلها من ثلاث مناطق. ففي نهايتها الأمامية تمتلك مفككات، وأهداباً متحركة، تتحرك بشكل رتيب في حركة دائرية وذلك بغرض الانتقال وتجميع الغذاء. أما الجسم الرئيسي تحت الرأس فيحتوي على طبقه سميكة من الإهاب أو القشرة (cuticle) تنتهي عند القدم. وتتميز أقدامها بغدد لاصقة وسنابك للإلتصاق بالركائز. تنفرد المفككات

بإمتلاكها المقدرة على مضغ غذائها باستخدام بلعوم عضلي معدل يدعى بلعوم الدولابيات (Mastax). تتطلب المفككات مستويات عالية من الأوكسجين المذاب، وعليه يشير وجودها إلى ماء ذي مستوى عالٍ من النقاء الأحيائي.

تمتلك المفككات أعضاء تناسلية على هيئة مبايض. وتنقسم إلى رتبتين مختلفتين بحسب عدد المبايض التي تمتلكها. فعلى سبيل المثال، وفي الرتبة مانوغونوتا (Monogonota)، تمتلك المفككات مبيضاً واحداً، أما في الرتبة دايجونونتا (Digononta) فتتميز المفككات بمبيضين.

تتحرك المفككات عن طريق السباحة الحرة أو الحركة الزاحفة. وتتحرك المفككات السابحة عن طريق الحركة الإيقاعية لحلقات الأهداب الموجودة في منطقة البشرة في الرأس. وعندما تتحرك كل حلقة من الأهداب فإنها تُذكِّر بأشعة الدولاب. تكرار هذه الحركة الإيقاعية عال جداً. هذا وتتحرك المفككات من هذا النوع حركة أمامية بطيئة.

تستعمل المفككات ذات الحركة الزاحفة تقنية مثيرة من أجل حركتها. فعند التصاقها بواسطة الغدد اللصقية وأصبع القدم بركيزة قديمة، يمد الكائن المفكك جسمه. وأثناء هذا التمدد يستخدم المفكك الغدد اللصقية في رأسه للالتصاق بركيزة جديدة ،ومن ثم يحرر أصبع القدم من الركيزة القديمة. وينقبض الجسم حتى تصل القدم إلى الركيزة الجديدة قرب الرأس ثم ينفك الرأس ويتمدد الجسم إلى وضعه الطبيعي.

القشريات Crustaceans

تمثل القشريات المجهرية مصدر إهتمام لمختصّى المياه ومياه الصرف الصحي، وذلك لأنها عنصر مهم من البلانكتون الحيواني في المياه العذبة. تتميز هذه الكائنات المجهرية بتركيب قشري صلب. وهي حيوانات عديدة الخلية وهوائية بشكل إجباري، وكمنتجات أساسية، تتغذى على البكتريا والطحالب.

وهي مصدر مهم لغذاء الأسماك. وبالإضافة إلى ذلك، استخدمت القشريات المجهرية لتصفية النفايات السائلة المثقلة بالطحالب من برك الأكسدة.

الديدان Worms

تقطن الديدان في الأطيان العضوية، كما تقطن الديدان الخيطية والمسطحة في الأوحال الحيوية، وهي مجهرية الحجم، يتراوح قطرها من 0.5 إلى 3 نانومتر. تبدو معظم الديدان متشابهة في المظهر، وتتميز بأجسام مغطاة بطبقة من الكيوتكل، وهي أسطوانية وغير مقسمة ، وذات أطراف مستدقة.

تتغذى الديدان المسطحة المائية (وهو اسم غير دقيق لأنها غير مسطحة على الإطلاق) على الطحالب، وبسبب كراهيتها للضوء فهي عادة ما توجد في الأعماق الدنيا للأحواض.

وتتميز المياه السطحية ذات الدرجة العالية من التلوث بالمواد العضوية (خصوصاً مياه المجاري المنزلية) بمجموعة من الحيوانات القادرة على النمو في ظل تراكيز منخفضة من الأوكسجين. وتهيمن أنواع قليلة من ديدان التيوبفكس على هذه البيئة. يمكن لقيعان هذه المجاري شديدة التلوث أن تكون مغطاة حرفياً بكتلة متلوية من هذه الديدان.

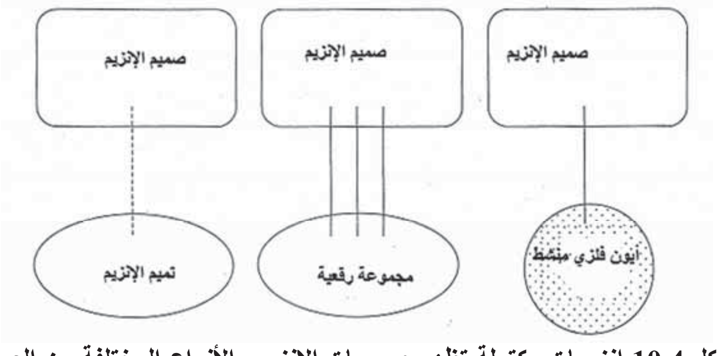
أحد الأصناف، التيوبفكس –Tubifix– (والتي تعرّف بديدان الوحل)، هي ديدان صغيرة، نحيفة، ومائلة إلى الحمرة يتراوح طولها ما بين 25 –50 نانومتر. وهي من الديدان الحفارة ؛ يبرز طرفها الخلفي للحصول على المواد المغذية. وعندما توجد في هذه المجاري فإنها تمثل مؤشرا على التلوث.

الإنزيمات Enzymes

يستخدم عدد من الأنشطة الحيوية في عدد من عمليات المعالجة البيئية لتحليل المادة العضوية. ولتحليل المادة العضوية لابد للبيئة من هذه العمليات أن تسع الأنواع الملائمة من الكائنات الحية الدقيقة.

تعد **الإنزيمات (Enzymes)** الموجودة في داخل هذه الكائنات الحية الدقيقة، والبيئات المحيطة (الماء، والهواء، والتربة) عوامل الحفز الأساسية التي تمكن الكائنات الحية من تكسير المواد العضوية. فالعامل الحفاز يعرف بأنه أي مادة تعدل أو تزيد من معدل التفاعل الكيميائي من دون أن تستهلك هي ذاتها في العملية.

لابد للكائنات الحية الدقيقة من التأقلم أولاً على البيئة قبل أن تبدأ بإنتاج الإنزيمات التي تحتاجها لتكسير المواد العضوية. تقوم إنزيمات معينة بتكسير المواد العضوية المختلفة. وفي هذه العملية، تعمل الإنزيمات لتسريع معدل تحلل المركبات العضوية المعقدة ومعدل أكسدة المركبات البسيطة وذلك بتقليل طاقة التنشيط اللازمة. تعتبر الخلية موقعاً لنشاط كيميائي حيوي ضخم يعرف بالاستقلاب/الأيض (سيناقش بتفصيل لاحقاً). والاستقلاب هو عملية التغير الكيميائي والفيزيائي التي تحدث بشكل مستمر في الكائنات الحية. ويشمل ذلك تحويل الطعام إلى طاقة يمكن الاستفادة منها في بناء أنسجة جديدة، واستبدال الأنسجة القديمة، والتخلص من النفايات الناتجة، والتكاثر، وكل الأنشطة المميزة للحياة.



الشكل 10.4 إنزيمات مكتملة تظهر صميمات الإنزيم والأنواع المختلفة من العوامل المساعدة

مأخوذ من ويتكوسكي وبور (1975)، ص 7.

ولغرض التوضيح، تخيل أن الأنشطة التي تميز الحياة مرتبطة بالأنشطة التي

تحدث في خط تجميع ما في مصنع معيق. وقد لاحظ ر. بريسلو (R.Breslow) هذا الارتباط عندما سمى الإنزيمات " ماكينات الحياة " (1990). وبشكل ما فإن استنتاج بريسلو عن الطبيعة شبه الأولية للإنزيمات فيه كثير من الدقة، عندما تضع في اعتبارك كيف أن الإنزيم يمكن أن يعيد عملية معينة عدداً من المرات في الثانية الواحدة (مثل الآلة)، أو حتى أسرع منها. والمزيد من التوضيح، فكر في الإنزيم (في هذه الحالة) على أنه آلة صغيرة: ندخل المواد الخام من جهة وتخرج المنتجات من الجهة الأخرى. والإنزيم متخصص مثله مثل الآلة. وأخيراً، عندما يفكر شخص ما في الخلية باعتبارها مصنعاً صغيراً يحتوي على الآف الأنواع من الآلات المتخصصة (الإنزيمات) فإن وظيفة الإنزيم تصبح أوضح.

تجعل ظاهرة **الحفز** (Catalysis) حدوث التفاعلات الكيميائية الحيوية الضرورية ممكناً لكل العمليات الأحيائية. ويعرّف الحفز على أنه تعديل في معدل تفاعل كيميائي بواسطة عامل حفاز. تعد الإنزيمات هي العوامل الحفازة للتفاعلات الكيميائية في الكائنات الحية. ومن دون إنزيمات تحدث هذه التفاعلات بمعدلات بطيئة جداً لا تقدر على مجاراة الاستقلاب.

طبيعة الإنزيمات Nature of Enzymes

ماهي الإنزيمات على وجه التحديد ؟ الإنزيمات هي، في الأساس، بروتينات متكونة من بلمرة بعض/أو كل الأحماض الأمينية، يوجد 20 حمضاً أمينياً في البروتينات. والإنزيمات مركبات ذات وزن جزئي عالٍ (تتراوح بين 10000 إلى 2000000) وتتكون من سلاسل من الأحماض الأمينية المرتبطة سوياً بواسطة الروابط الببتيدية. وفي عمليات الربط الكلية يفقد جزئ من الماء ما بين مجموعة الكربوكسيل لحمض أميني ومجموعة الأمين: وللحمض الأميني المجاور العديد من الخطوات التي تحدث في التتابع الفعلي لتصنيع البروتين، وتشمل الإنزيمات، حيث يمكن التزود بالطاقة من الجزئيات الأخرى.

معظم الإنزيمات هي بروتينات محضة. ومع ذلك تتطلب بعض الإنزيمات مشاركة مجموعات صغيرة غير بروتينية، عضوية أوغير عضوية، قبل أن تنفذ نشاطها الحفزي. تدعى هذه المجموعات غير البروتينية بالعامل المساعد cofactor أو المنشط (activator). وفي بعض الأحيان يكون هذا العامل المساعد أيون معدني غير بروتيني (أيونات الحديد) يمثل جزءاً وظيفياً من الإنزيم. وفي حالة وجود العامل المساعد والجزء البروتيني (صميم الإنزيم)، يدعى كامل المركب النشط الإنزيم الكامل.

(1.4) الأبوإنزيم + العامل المساعد = الإنزيم الكامل أو

Hpoenzyme + Cofactor ⟶ Holoenzyme

تتأثر التسمية التركيبية للإنزيم بطريقة التصاق العمل المساعد لصميم الإنزيم (إنظر الشكل 10.4). وعلى سبيل المثال، إذا كان العامل المساعد ملتصقاً بشدة على صميم الإنزيم، فانه يدعى بالمجموعة الرقعية (prosthetic group). أما إذا كان العامل المساعد على التصاق خفيف بصميم الإنزيم فإنه يدعى في هذه الحالة بتميم الإنزيم (Co–enzyme).

عمل الإنزيمات Action of Enzymes

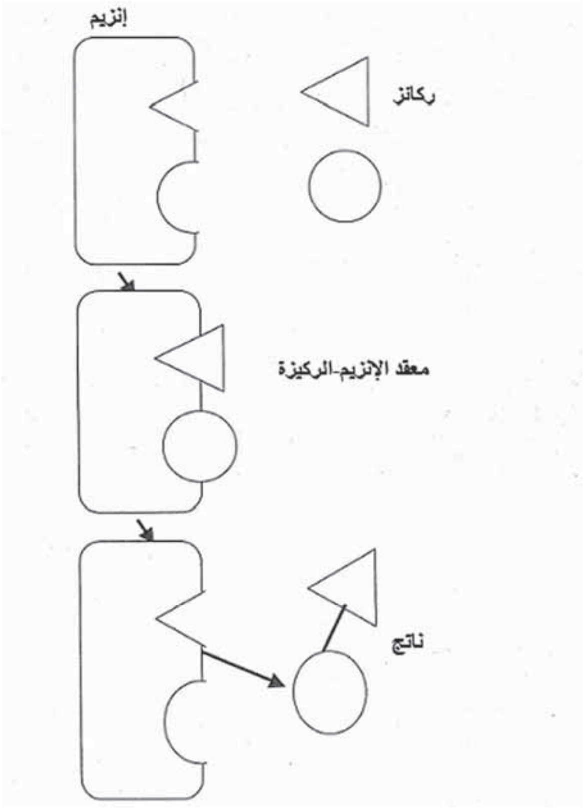
تذكر أن الإنزيمات، تزيد من سرعة التفاعلات من دون أن تتعرض هي ذاتها لأي تغيير كيميائي دائم (لا تغير ثوابت التوازن الخاصة بها). فهي لا تستهلك ولا تظهر في النواتج النهائية للتفاعل. والتفاعل الأنزيمي الأساسي هو :

الركيزة + الإنزيم (محفز التفاعل) = الناتج + الإنزيم

لا حظ أن النواتج النهائية للتفاعل الإنزيمي تشمل الإنزيم والذي لم يتغير أو يستهلك في عملية التفاعل الإنزيمي. يؤدي الإنزيم وظيفته من خلال ارتباط شديد التخصص مع **الركيزة (substrate)**، والتي تتعرض للتغيير الكيميائي، من دون أن تتغير هي ذاتها.

تم بذل مجهود كبير لأجل تحديد الكيفية التي يقلل من خلالها الإنزيم طاقة تنشيط التفاعل. والأمر الواضح أن الإنزيمات تقرب الركائز سوية في **الموقع النشط** على الإنزيم لتكون **معقد إنزيم – ركيزة** (enzyme–substrate complex) (انظر الشكل 11.4)

في معقد إنزيم–ركيزة هذا، تصل روابط ضعيفة بين الركيزة وعدد من النقاط في الموقع النشط للإنزيم. يسمح هذا التقريب بين الركائز بتركزها مما يقلل من طاقة التنشيط اللازمة لإكمال التفاعل. لاحظ أن معظم هذه التفاعلات يحدث في درجات حرارة منخفضة تتراوح بين 0 م إلى 36 م.



الشكل 11.4 وظيفة الإنزيم التي توضح التفاعل بين الركيزة والإنزيم والناتج مأخوذة من بريسكوت وآخرون. (1993)، ص 141.

فعالية،وتخصص، وتصنيف الإنزيمات Efficiency, Specificity, and Classification of Enzymes

الإنزيمات شديدة الفعالية. فكميات قليلة من الإنزيمات مطلوبة في درجات حرارة منخفضة لإنجاز ما يتطلب درجات حرارة عالية وعوامل كيميائية شديدة القوة في التفاعلات الكيميائية العادية. على سبيل المثال، باستطاعة مقدار أوقية من الببسين تكسير حوالي طنين من بياض البيض في ساعات قليلة، في حين أن العملية ذاتها تستهلك حوالي 15 طناً من الأحماض القوية في 36 ساعة وفي درجات حرارة عالية.

وبالإضافة إلى كونها ذات كفاءة عالية وشديدة الفعالية، فإن الإنزيمات تتميز بدرجة عالية من **التخصص (Specificity)**. وكما أن أي مفتاح لا يناسب ولن يستطيع فتح أي قفل، كذلك تتطلب الإنزيمات تناسباً جزئياً دقيقاً بين الإنزيم والركيزة.

بحلول العام 1956 ازداد عدد الإنزيمات المعروفة بشكل سريع. وفي عام 1961 أصدر الاتحاد العالمي للكيمياء الحيوية خطة تصنيف للإنزيمات لا زالت مستخدمة عالمياً حتى اليوم. وباستثناء الإنزيمات التي تمت دراستها في البداية (الرينين،والببسين، والتربسين)، فإن معظم الإنزيمات تنتهي باللاحقة (ase) في اللغة الإنجليزية. توصي التسمية القياسية للإنزيمات، الصادرة من الاتحاد العالمي للكيمياء الحيوية، بأن تسمى الإنزيمات بحيث تشمل التسمية الركيزة التي يشتغل عليها الإنزيم ونوع التفاعل المحفز.

أثر البيئة على نشاط الإنزيمات Effect of Environment on Enzyme Activity

تؤثر عوامل عدة على المعدل الذي تسير به التفاعلات الإنزيمية. تشمل هذه

العوامل تركيز الركائز، وتركيز الإنزيم، والأس الهيدروجيني، والحرارة، بالإضافة إلى وجود المنشطات أوالمثبطات.

تركيز الركائز Substrate Constration

عندما يكون تركيز الركائز منخفضاً يصنع الإنزيم الناتج بشكل بطيء. ومع ذلك، إذا ظلت كمية الإنزيم ثابتة وتمت زيادة تركيز الركيزة بشكل تدريجي، فإن سرعة التفاعل تزداد حتى تصل إلى حد أقصى (عادة ما يعبر عنها على شكل معدل تكون الناتج). وبعد هذه النقطة، فإن الزيادة في تركيز الركائز لا ينتج عنها زيادة في سرعة التفاعل، لأن كل جزئيات الإنزيم المتاحة مرتبطة مع الركائز لتحولها إلى نواتج بأقصى سرعة ممكنة. وللحصول على فهم متعمق لعملية تشبع الإنزيمات هذه، لابد أن تدرس، وبتفصيل، حركيات التشبع (حركيات مايكل مينتن)، وهي دراسة تخرج عن نطاق ما نناقشه في هذا الكتاب. وعلى الرغم من ذلك، فإن تقديراً أساسياً لما يحدث خلال ظاهرة تشبع الإنزيم بالركائز يمكن الحصول عليه من خلال دراسة الشكل التوضيحي في الشكل 12.4.

من الشكل 12.4 يمكنك أن ترى أن السرعة القصوى هي معدل تكون الناتج عندما يكون الإنزيم متشبعاً ويصنع النواتج بأقصى سرعة ممكنة. يعرف ثابت مايكل (Michaelis constant (Km على أنه تركيز الركيزة المطلوب للإنزيم حتى يصل إلى نصف سرعته القصوى. ونظرياً، عند الوصول إلى السرعة القصوى يتحول الإنزيم المتاح كله مركب إنزيم – ركيزة. يشار إلى هذه النقطة فى الرسم التوضيحي بالسرعة القصوى (Vmax). وباستخدام هذه السرعة القصوى وبمعادلة، طوّر مايكل مجموعة من التعبيرات الرياضية لحساب نشاط الإنزيمات وذلك على هيئة سرعة التفاعل من بيانات تم قياسها.

تركيز الإنزيم Enzyme Concentration

لدراسة تأثير زيادة تركيز الإنزيم على معدل التفاعل، لابد أن يكون التفاعل مستقلاً عن تركيز الركائز. فالتغيير في كمية الناتج المتكون في فترة زمنية محددة يعتمد على مستوى الإنزيم الموجود.

الأس الهيدروجيني pH

تغير الإنزيمات من نشاطها بتغير الأس الهيدروجيني. تعرف قيمة الأس الهيدروجيني المفضلة (النقطة التي يكون فيها الإنزيم في نشاطه الأقصى) بالأس الهيدروجيني الأمثل. وعندما تنخفض قيمة الأس الهيدروجيني أوتزيد عن هذه القيمة، فإن نشاط الإنزيم يتباطأ، ويفسد (denatured).

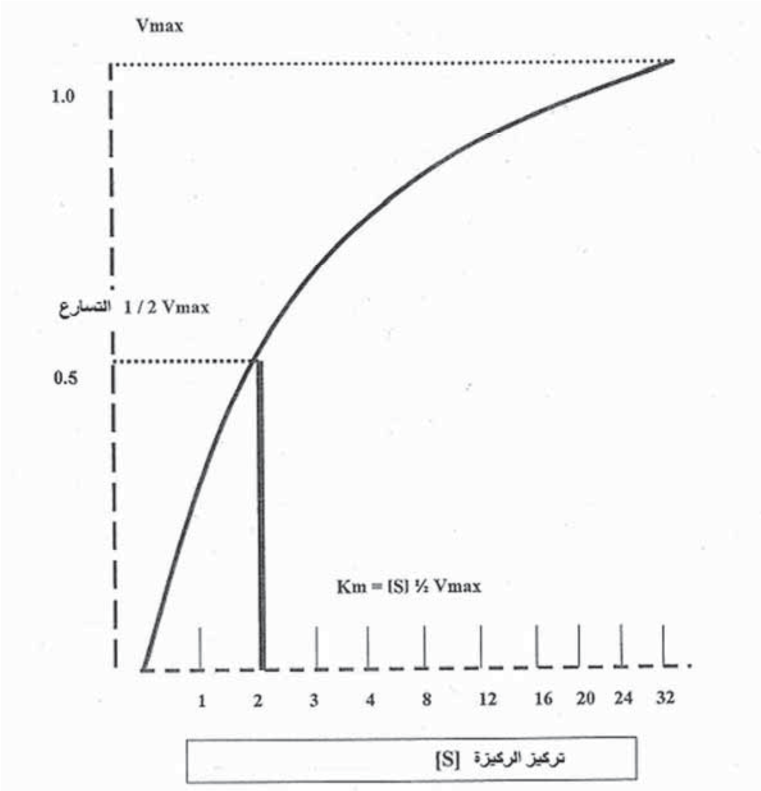
الحرارة Temperature

للإنزيمات أيضاً درجة حرارة مثلى للنشاط الأقصى. ومثل معظم التفاعلات الكيميائية، فإن معدل التفاعلات المحفزة عن طريق الانزيمات يزداد بزيادة درجة الحرارة. ومع ذلك، إذا زادت درجة الحرارة على الحرارة المثلى بدرجة كبيرة، فإن بنية الإنزيم تتحلل و(تفسد)، كما يفقد الإنزيم نشاطه. وعادة ما تعكس درجة الحرارة المثلى لإنزيمات كائن حي حرارة الموطن الذي يقطنه.

توضح لنا البكتريا التي تنمو بشكل افضل في درجات الحرارة العالية هذه الحقيقة، فهي عادة ما تملك إنزيمات ذات درجات حرارة مثلى مرتفعة.

المثبطات Inhibitors

تعرّف مثبطات الإنزيمات على أنها المواد التي تبطئ (وفي بعض الأحيان توقف) عملية الحفز. يتنافس المثبط مع الركيزة على الإرتباط مع الموقع الحفزي للإنزيم وبذا يمنع الإنزيم من تكوين الناتج.



الشكل 12.4 أثر تركيز الركيزة–إثر إعتماد السرعة على تركيز الركيزة لركيزة منفردة، في تفاعل محفز بالإنزيم. يتفق هذا المنحنى مع معادلة مايكلس، التي تربط بين السرعة (V) وتركيز الركيزة (S).

التحولات الاستقلابية(الأيضية) Metabotic Transformation

تتعرض العديد من المواد إلى تغيير كيميائي، ما بين إمتصاصها الأولي وإخراجها النهائي. يسمى نشاط خط التجميع الذي يحدث في الكائن الحي خلال معالجة المواد الخام إلى نواتج نهائية بالتحولات الاستقلابية. تتوسط الإنزيمات في هذه التحولات الاستقلابية. لابد لعلماء وممارسي علم البيئة من فهم هذه التحولات الاستقلابية.

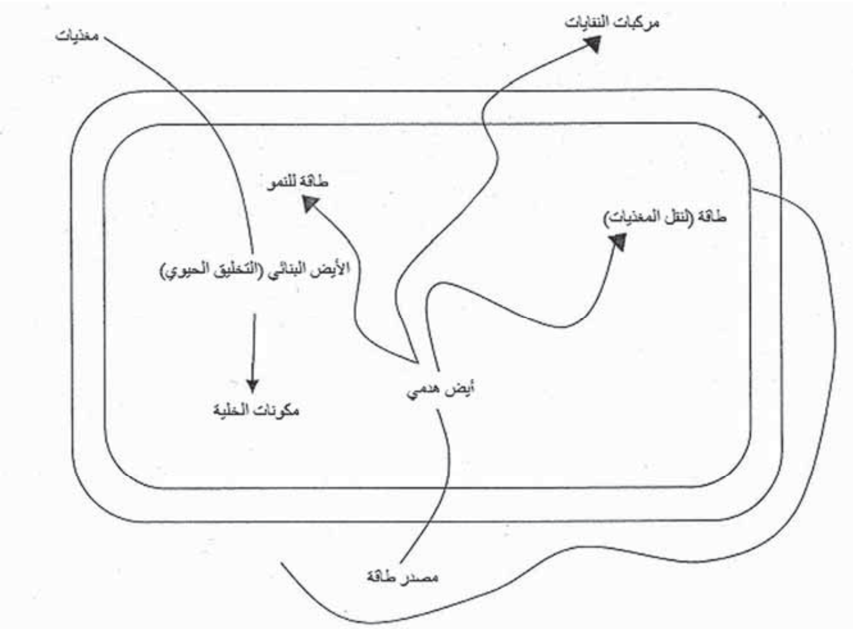
الاستقلاب العام (الأيض) General Metabolism

أُشتقت كلمة استقلاب من كلمة (metabole) الإغريقية والتي تعني " يغير". والاستقلاب معني أساساً بالتغير. عندما نحاول تحديد خصائص العمليات الإستقلابية (الإستقلاب) بشكل افضل، نجد العديد من التوصيفات المتاحة. فعلى مستوى الكائن الحي، مثلاً، يعرف الإستقلاب (والعمليات المصاحبة له) على أنه مقدرة الكائن الحي على التنظيم الذاتي. كما يمكن أن يعرف أيضاً على أنه المجموع الكلي للعمليات الفيزيائية والكيميائية التي تحافظ على الأنشطة الوظيفية والغذائية للكائن الحي. وبإستخدام التعبيرات العلمية، يشار إلى الاستقلاب على أنه الطاقم الكلي للتفاعلات الكيميائية والتي تنتج من خلالها الخلية كل الجزئيات المختلفة التي تحتاجها لتحافظ على نفسها. وبشكل مبسط، يوصف الإستقلاب على انه سريان الطاقة عبر الكائن الحي.

ينبغي على أي تعريف أو شرح لإستقلاب الكائن الحي أن يشمل شرحاً للعمليات الاستقلابية ذات الصلة. وهذه العمليات معروفة وموثقة بشكل جيد. وعلى سبيل المثال، فإن الشقيّن العامين للإستقلاب هما الأيض البنائي والأيض الهدمي. في التفاعلات الأيضية الهدمية، يتم تكسير المركبات المعقدة وتحرير الطاقة. ترتبط هذه التفاعلات مع التفاعلات الأيضية البنائية التي ينتج عنها تكوين جزيئات مهمة. ونتيجة لوجود هذه المواد الكيميائية والتفاعلات المصاحبة، فإن الخلايا تعتبر تراكيب حركية تخضع للتغير بشكل مستمر.

وخلال الاستقلاب، تتناول الخلية المغذيات (ستناقش لاحقاً)، وتحولها إلى مكونات خلوية، وتفرز النفايات إلى البيئة الخارجية (إنظر الشكل 13.4). تتكون خلايا الميكروبات من مواد كيميائية، وعندما تنمو الخلية تزداد كمية هذه المكونات الكيميائية. تأتي هذه المواد الكيميائية المطلوبة للخلايا من البيئة، من خارج الخلية. وعند دخولها إلى الخلية يتم تحويلها من قبل المكونات الأساسية للخلية.

تحتاج العمليات الأيضية إلى الطاقة وذلك لتناول المواد المغذية المختلفة وللحركة في الأنواع المتحركة. توضع الكائنات الحية في مجموعات أيضية إستناداً إلى مصدر الطاقة الذي تستعمله. ولتوصيف هذه المجموعات، نستخدم اللاحقة (troph) من اللغة الإغريقية وتعني " يتغذى". لذا تسمى الكائنات التي تستخدم المواد غير العضوية كمصدر للطاقة بآكلات الحجر (lithotroph)، فكلمة litho تعني حجر في اللغة اللاتينية. بينما نسمي الميكروبات التي تستخدم المواد العضوية مصدر للطاقة بالكائنات **متغايرة التغذية** (heterotroph) والتي (تتغذى على مصادر غير ذاتية). وتدعي الكائنات الحية الدقيقة التي تستخدم الضوء كمصدر للطاقة بالكائنات **ضوئية التغذية** (phototroph) من كلمة (photo) بمعنى ضوء في اللغة الإغريقية.وتدعى معظم البكتريا التي تستعمل المواد الكيميائية كمصدر للطاقة بالكائنات **كيميائية التغذية** (chemotroph).



الشكل 13.4 صورة مبسطة لعملية الإستقلاب في الخلية
مأخوذ من تي، دي. بروك، وإم، تي. ماديجان. علم أحياء الكائنات الدقيقة، 1991.

وعلى الرغم من أن مناقشة متعمقة للعمليات الأيضية لكل الكائنات الحية تتجاوز نطاق هذا الكتاب، فعلى ممارسي علم البيئة أن يكونوا على معرفة رصينة بالمفاهيم الأساسية التي نغطيها في المناقشة القادمة. وبالخصوص، سنقدم معلومات بحيث يتمكن من استيعاب استقلاب الخلية وأساسيات الكيمياء الحيوية المتعلقة بنمو الميكروبات.

تصاحب التفاعلات الكيميائية التي تحدث في الخلية بتغييرات في الطاقة. يسمى التفاعل الكيميائي الذي يحدث معه تحرر للطاقة بالتفاعل **الباعث للطاقة (exergonic)**، وذلك الذي يستهلك الطاقة بالتفاعل **الماص للطاقة** (endergonic). يمكن التعبير عن الطاقة الحرة لهذه التفاعلات بطريقة كمية.

لابد من تنشيط المواد المتفاعلة في التفاعل الكيميائي، قبل حدوث أي تفاعل كيميائي. يتطلب هذا التنشيط طاقة. ويمكن تقليل طاقة التنشيط اللازمة بإستعمال عامل حفاز، والعوامل الحفازة للخلايا الحية هي الإنزيمات. وكما ذكرنا سابقاً فإن الإنزيمات هي بروتينات شديدة التخصص في التفاعل الذي تحفزه.

يشمل استعمال الطاقة الكيميائية في الكائنات الحية تفاعلات الأكسدة والاختزال، والتي تشمل انتقال الإلكترونات من متفاعل إلى آخر .تعرّف **الأكسدة** (oxidation) على أنها إزالة إلكترون أو إلكترونات من مادة ما. في حين أن **الاختزال** (reduction) هو إضافة إلكترون أو إلكترونات إلى مادة ما. وفي تفاعلات الأكسدة والاختزال، تنتقل الإلكترونات من متفاعل إلى آخر. يحرك مصدر الطاقة، وهو **مانح الإلكترون** (electron donor) إلكتروناً أو أكثر إلى **مستقبل الإلكترونات (electron acceptor)**. وفي هذه العملية يتأكسد مانح الإلكترون ويختزل مستقبل الإلكترونات. يعد الأوكسجين الجزيئي أحد أهم مستقبلات الإلكترون في الكائنات الحية. ويعبر عن إعتمادية مركب ما في

شأن إستقبال أوإطلاق الإلكترونات بشكل كمي عن طريق **جهد الاختزال (reduction potential)**.

يشمل إنتقال الإلكترونات من المانح إلى المستقبل داخل الخلية واحداً أو أكثر من المواد الوسيطة، والتي يشار إليها بإسم **حاملات الإلكترونات** (electron carriers). بعض حاملات الإلكترونات حرة النفاذ، وتنقل الإلكترونات من مكان إلى آخر داخل الخلية، في حين أن بعضها يلتصق على إنزيمات في سطح الخلية.

اثنان من أكثر حاملات الإلكترونات شيوعاً هما التميمان NAD وNADP. ينتشر+ NAD (ثنائي نيوكلتيد امآيد نيكوتين) و+ NADP (NAD فوسفات) حيث أنهما يمثلان حاملين ذوي نفاذية حرة، ودائما ما ينقلان ذرتي هيدروجين للناقل التالي في السلسلة.

في معظم الحالات، تحفز التفاعلات الحيوية بواسطة إنزيمات محددة. ويمكن لهذه الإنزيمات أن تتحد مع مدى محدد من الركائز لا أكثر. تتم تفاعلات الأكسدة والاختزال عادة في ثلاث خطوات:(1) إزالة الإلكترونات من المانح الأولي (2) نقل الإلكترونات عبر سلسلة من حاملات الإلكترونات، (3) إضافة إلكترونات إلى المستقبل النهائي. ويتم حفز كل خطوة بإنزيم مختلف، يرتبط كل منها بركيزته وبتميمه المحدد. وبعد أن يؤدي التميم وظيفته الكيميائية في أحد التفاعلات، يمكن أن ينتشر عبر السايتوبلازم حتى يرتبط بإنزيم آخر يعيده إلى حالته الأصلية، ثم تتكرر هذه العملية من جديد.

لا يمكن استخدام المواد الكيميائية، أو طاقة الشمس بشكل مباشر كمصدر للوقود للعمليات التي تتطلب طاقة. لذا، يجب أن تكون للخلية طرق لتحويل مصادر الطاقة إلى شكل قابل للإستخدام. في وجود طاقة الشمس وبعض المواد الكيميائية، تصنع الخلية مركبات محددة عالية الطاقة يمكن أن تشبع

حاجتها من الطاقة، أحد هذه المركبات المهمة هو ثلاثي فوسفات الأدينوسين (ATP).

تشمل عملية تكوين ATP إتحاد ثنائي فوسفات الأدينوسين (ADP) مع الفوسفات الغير عضوي (Pi) :

$$ADP + Pi + \text{طاقة} \longrightarrow ATP \qquad (3.4)$$

يمكن الحصول على الطاقة المطلوبة لهذه التفاعلات بثلاثة طرق مختلفة: الفسفرة الناتجة من عملية التخليق الضوئي (تحويل المواد العضوية إلى فوسفات عضوي)، أوفسفرة الركائز، أوالفسفرة المؤكسدة (تحدث في أغشية الميزوسومات والتراكيب المرتبطة بها في الكائنات ذات النواة الكاذبة)، إستناداً إلى مصدر الطاقة.

في الفسفرة المرتبطة بالتخليق الضوئي يتم إمتصاص الطاقة المطلوبة على هيئة طاقة ضوئية عن طريق صبغة الكلوروفيل. وعلى سبيل المثال، يزود التخليق الضوئي الطحالب الزرقاء – الخضراء، والنباتات بجزئيات ATP اللازمة لتصنيع كل المواد (تكوين المركبات) اللازمة لها.

تدعى عمليات الأيض الهدمية التي تحول المركبات العضوية إلى مركبات عضوية أخرى بالتفاعلات الركيزية. وكما ذكرنا سابقاً، فإن الركيزة هي المادة التي يعمل عليها الإنزيم. خلال بعض تفاعلات الركائز، تتكون روابط عالية الطاقة، بحيث يمكن أن تستخدم هذه الطاقة لدمج ADP والفوسفور الغير عضوي Pi لتكوين جزئي ATP. تتكون جزئيات ATP هذه عن طريق فسفرة الركائز، والتي تحدث في سايتوبلازم الخلايا. أثناء فسفرة الركائز، يتم تصنيع جزئيات ATP خلال خطوات إنزيمية في عملية الأيض الهدمي للمركب العضوي. تنتج عملية تسمى بالتخمر (ستناقش في الفصل اللاحق) جزئيات ATP.

التحلل الجلكوزي Glycolysis

التحلل الجلكوزي هو واحد من ثلاثة أطوار في عملية الأيض الهدمي للجلكوز الى ماء وكربون. الطوران الآخران هما، (دورة كربس ونظام نقل الإلكترون، وسنناقشهما لاحقاً). يمكن أن يحدث التحلل الجلكوزي تحت ظروف هوائية أو لاهوائية، وتدعي العمليات اللاهوائية بالتخمر. التخمر هو العملية التي يحدث فيها التحلل اللاهوائي للمركبات العضوية. تعمل هذه المركبات العضوية كمانحات ومستقبلات للإلكترونات. لذا، تنتج المواد القابلة للتخمير مواد أيضية (المركبات العضوية الناتجة عن الأيض) قابلة للأكسدة والإختزال.

يمكن فهم الاستقلاب المحول للطاقة (التخمر) والذي يتم فيه إستقلاب الركائز من دون مساهمة من عامل مؤكسد خارجي، بشكل أبسط بالنظر إلى المساقات الإستقلابية. وعلى سبيل المثال، في بعض أنواع البكتريا يبدأ تخمير الجلكوز بمساق يسمى التخمر الجلكوزي.

يشمل التحلل الجلكوزي (والذي يشار إليه في بعض الأحيان كمساق امبدن – مايرهو ف، بارناس) تحليل أوفصل الجلكوز (سكر) في تفاعل هدمي يحول جزء واحد من الجلكوز إلى جزئين من الناتج النهائي وهو حمض البيروفيك. في هذا المساق تستخدم الطاقة من التفاعلات الباعثة للطاقة لفسفرة ADP وذلك يعني أن جزئيات ATP تصنع من ADP، كمثال لفسفرة الركائز حيث تستخدم الطاقة من التفاعل الكيميائي بشكل مباشر لتصنيع ATP من ADP.

الناتج النهائي في عملية التخمر الجلكوزي المنتجة للطاقة هو تحرر كمية قليلة من الطاقة تستخدم لوظائف الخلية المتنوعة، وفقدان كميات كبيرة من الطاقة على شكل نواتج تخمرية. تشمل النواتج الشائعة للتخمر في عملية التحلل الجلكوزي الإيثانول، وحمض اللاكتيك، والكحول، ومواد غازية تنتج من قبل بعض أنواع البكتريا، على سبيل المثال.

التنفس Respiration

التنفس هو العملية الهدمية التي يتم من خلالها أكسدة مركب ما باستخدام الأوكسجين كمستقبل خارجي للإلكترونات. يعد استخدام مستقبل خارجي للإلكترونات أمراً مهماً، فعملية التخمر، تنتج طاقة قليلة، وذلك أساساً بسبب أن أكسدة جزئية، ليس إلاّ، تحدث للمركبات البادئة في هذه العملية. ولكن، عند وجود مستقبل نهائي خارجي (مثل الأوكسجين)، تتأكسد كل جزئيات الركائز بشكل كامل إلى ناتج ثانوي(ثاني أوكسيد الكربون). وعندما يحدث هذا، يكون إنتاج حصيلة أوفر من جزئيات ATP أمراً ممكناً. وبسبب من أن عاملا مؤكسدا خارجياً قد أستخدم، فإن الركائز تخضع للتأكسد (إنظر الشكل 14.4). توفر أكسدة ركيزة ما طاقة أكثر من تلك التي يمكن الحصول عليها من تخمر نفس الركيزة.

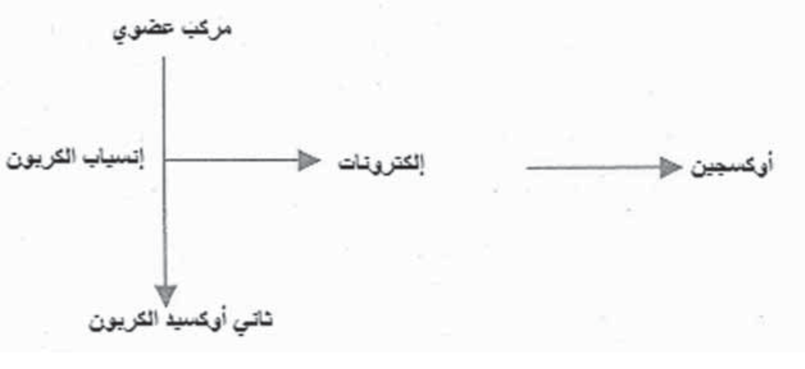
دورة كربس Krebs Cycle

تُدعى دورة كربس في بعض الأحيان بدورة حمض الستريك أودورة الحموض ثلاثية الكربوكسيل، وتُعرَّف أيضاً "بدولاب الطاقة" (energy Wheel) للإستقلاب الخلوي (إنظر الشكل 15.4)، ذلك لأنها تسلسل دائري من التفاعلات الضرورية لتوفير إحتياجات الخلية من الطاقة. عندما يكون الأوكسجين متاحاً للخلية فإن الطاقة المخزنة في حمض البيروفيك تتحرر عبر التنفس الهوائي. في دورة حمض الستريك، يتم، أولاً، نزع مجموعة الكربوكسيل من حمض البيروفيك، مما يؤدي إلى إنتاج جزئ واحد من NADH ومجموعة من حمض الخليك مقترنة مع تميم الإنزيم أ. تكون إضافة مشتق حمض الخليك المقترن مع تميم الإنزيم أو الذي يحتوي على ذرتين من الكربون إلى حمض الاوكسالواستيك ذي الأربعة كربونات حمض الستريك، والذي يحتوي على ستة ذرات من الكربون. يوفر تميم الإنزيم أ ذات الطاقة العالية اللازمة لهذه العملية.

وبعد أن تخضع لعملية نزع الماء، ونزع الكربوكسيل، والأكسدة يتحرر جزآن من ثاني أوكسيد الكربون وأخيراً، يتم تجديد حمض الاوكسالواستيك ليعمل مرة أخرى كمستقبل لمجموعة الخليك، وعليه يكمل الدائرة. وفي أثناء هذه الدورة، تنتج ثلاثة جزئيات NADH، وجزيئ FADH، وجزيئ واحد من ATP عن طريق فسفرت الركائز. يسمح وجود مستقبل للإلكترونات في عملية التنفس بأكسدة كاملة للجلكوز الى ثاني أوكسيد الكربون، وبناتج أعلى من الطاقة.

نظام نقل الإلكترون Electron Transport System (ETS)

يعتبر نظام نقل الإلكترون مساقاً مشتركاً لإستخدام الإلكترونات الناتجة من عدد من العمليات الإستقلابية. يمنع الغشاء السايتوبلازمي، وهو جهاز ضبط للبئية الخلوية الداخلية معظم الجزئيات من الدخول أو الخروج من خلايا الكائن الحي. ومع ذلك، فأثناء عملية الإستقلاب يجب أن تكون الخلية قادرة على إدخال ركائز مختلفة وإخراج النفايات، ويتم هذا عبر أنظمة النقل. في بعض الكائنات الحية مثل البكتريا سالبة الغرام، يوجد نظام النقل هذا في أغشية أخرى غير الغشاء السايتوبلازمي (انظر الشكل 15.4).



الشكل 14.4 التنفس الهوائي-عملية الأكسدة التي يستخدم فيها الأوكسجين كمستقبل خارجي للإلكترونات.

يتكون نظام نقل الإلكترونات من حاملات الإلكترون. في خلية بكترية، يوجد نظام نقل الإلكترون المساهم في عملية التنفس في الغشاء السايتوبلازمي. لهذا النظام وظيفتان: أن يقبل الإلكترونات من مانحات الإلكترون، وأن ينقلها إلى مستقبلات الإلكترون، وأن يحفظ الطاقة الناتجة أثناء انتقال الإلكترونات بتصنيع ATP.

البروتينين اللذين يكونان نظام نقل الإلكترون هما الفلافوبروتين (flavoproteins) والسايتوكروم. تتكون الفلافوبروتينات من بروتينات (إنزيمات) محتوية على الريبوفلافين، والذي يعمل كعامل حفاز في تفاعلات نزع الهيدروجين أو كحامل للهيدروجين في عدد من التفاعلات الكيميائية. أما جزيء الفلافين المرتبط مع البروتين فيتعرض للإختزال عند قبوله لذرات الهيدروجين ويتأكسد عند تمرير الإلكترونات بالتناوب. يمثل الريبوفلافين (ويدعي أيضا فيتامين ب 2) مادة عضوية ضرورية لنمو بعض أنواع الكائنات الحية.

أما السايتوكرومات (cytochromes) فهي بروتينات تحتوي على الحديد، تستقبل وتنقل الإلكترونات عن طريق الأكسدة والاختزال المتناوبين لذرات الحديد، وهي مهمة لإستقلاب الخلية. تعرّف السايتوكرومات في نظام نقل الإلكترونات (ضمن أشياء أخرى) بفرق جهد إختزالها. يمكن للسايتوكروم أن ينقل الإلكترونات إلى سايتوكروم آخر ذوفرق جهد أكثر إيجابية، ويمكن له أن يستقبل الإلكترونات من سايتوكروم آخر أقل إيجابية.

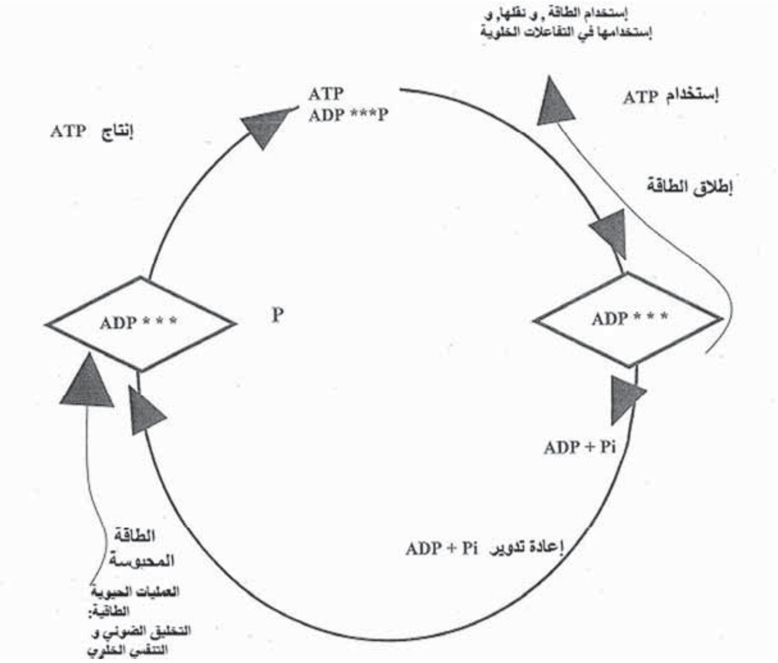
استقلاب الكائنات ذاتية التغذية ومتغايرة التغذية
Autotrophic and Heterotrophic Metabolism

تستطيع الكائنات ذاتية التغذية إستخدام ثاني أوكسيد الكربون كمصدر أساسي للكربون وذلك لتكوين المركبات الكيميائية الحيوية الأساسية. تمزج البكتريا

ضوئية التغذية الذاتية ثاني أوكسيد الكربون مع سكر الريبوليوز ثنائي الفوسفات لتكون الجزيئات الكبيرة، والتي يمكن أن تستخدم للطاقة. وتعتمد البكتريا ذاتية التغذية ذات التخليق الكيميائي على أكسدة المركبات غير العضوية، ويشمل ذلك الهيدروجين، للحصول على الطاقة اللازمة لتثبيت ثاني أوكسيد الكربون.

التفاعل الكلي :	Pyruvate + 4NAD + FADE →$3CO_2$ + 4NADH + FADH			
	GDP + Pi	→	GTP	15 ATP
	GTP + ADP	→	GDP + ATP	
نقل الإلكترونات	4 NADH	=	12 ATP	
الفسفرة	FADH	=	2 ATP	

الجدول 15.4 ملخص للتفاعل الكلي في دورة كربس



الشكل 16.4 تكوين أي تي بي (ATP)، المادة التي تزود كل الكائنات الحية بالوقود. عن طريق عملية الفسفرة، تتكون الروابط الغنية بالطاقة (***)، وتستخدم لجمعADP وPi في هيئة ATP- الذي يستخدم لتزويد العمليات الحيوية بالوقود. بعد ذلك يستخدم في دورة مستمرة.

مأخوذة من جي، إي. ويسترش وإم، دي، ليخمان، علم الأحياء الدقيقة، 1980، ص 273.

أما في إستقلاب الكائنات متغايرة التغذية، فلا يمكنها استخدام ثاني أوكسيد الكربون كمصدر رئيسي للكربون. تؤدي البكتريا ذاتية التغذية ذات التخليق الكيميائي عدداً من التفاعلات الإستقلابية التي تتضمن بروتينات، ودهوناً، وكاربوهيدرات شبيه بتلك الموجودة في الكائنات الحية الدقيقة الأخرى. تستطيع الكائنات متغايرة التغذية ذات التغذية الضوئية أن تتكيف مع كميات متفاوتة من الأوكسجين.

تغذية الميكروبات Microbial Nutrition

قدمنا في الفصول السابقة أوجهاً متنوعة للتكوين الكيميائي لمكونات الخلية. وقد يكون من المفيد في هذه النقطة تلخيص المعلومات المعروفة عن التكوين الكيميائي للخلية البكترية (الجدول 5.4).

من الجدول 5.4 نرى أن الخلايا تحتوي على كميات كبيرة من الماء والمركبات العضوية وغير العضوية، ولكنها تتكون أساساً من جزئيات كبيرة مثل البروتينات والأحماض النووية. تستطيع الخلية الحصول على معظم الماء (جزئيات صغيرة) الذي تحتاجه من البيئة في شكل قابل للإستخدام، في حين تصنع الجزئيات الكبيرة داخل الخلية.

الجدول 5.4 التكوين الكيميائي للخلية البكتيرية

الجزيئ	نسبة الوزن الرطب	نسبة الوزن الجاف
الماء	70	____
مجموع الجزيئات الكبيرة	26	96
البروتينات	15	55
السكريات المتعددة	3	8
الدهو ن	2	8
الحمض النووي الريبي منقوص الأوكسجين	1	5
الحمض النووي الريبي	5	20

العدد الكلي للوحدات المنفردة	3	3
أحماض أمينية	0.5	0.5
سكر	2	2
النيوكليتيدات	1	0.5
الأيونات الغير عضوية	1	1
المجموع	%100	%100

تتكون كتلة الخلية من أربع ذرات رئيسية:الكربون، والأوكسجين، والنيتروجين، والهيدروجين. يوجد عدد من الذرات الأخرى المهمة لوظيفة الخلية ولكنها أقل ظهوراً. وتشمل هذه المجموعة الكالسيوم، والماغنيسيوم،والحديد، والزنك، والفوسفور، وكلها موجودة في خلايا الميكروبات، ولكن بكميات أقل من الكربون، والهيدروجين، والأوكسجين، والنيتروجين.

التغذية Nutrition

تنقسم المغذيات المستخدمة من قبل الكائنات الحية والتي يتم الحصول عليها من البيئة إلى قسمين:المغذيات الكبيرة،المطلوبة في كميات كبيرة، والمغذيات الدقيقة،المطلوبة بكميات أقل.

الجدول 6.4 المغذيات الكبيرة

الأشكال العنصرية الموجودة في الطبيعة	العنصر
ثاني أوكسيد الكربون	الكربون
المركبات العضوية	الكربون
الماء	الهيدروجين
المركبات العضوية	الهيدروجين
الماء	الأوكسجين
غاز الأوكسجين	الأوكسجين
النشادر	النتروجين
النترات	النتروجين
الأحماض الأمينية	النتروجين

الفوسفات	الفسفور
كبريتيد الهيدروجين	الكبريت
الكبريتات	الكبريت
المركبات العضوية	الكبريت

المغذيات الكبيرة Macronutrients

تتطلب معظم الكائنات الحية الدقيقة مركباً عضوياً للحصول على مصدر للكربون. تظهر البكتريا مقدرتها على استيعاب مجموعة واسعة من المركبات العضوية المختلفة لصناعة مواد خلوية جديدة. ومن المعروف أن المغذيات الكبيرة، مثل الأحماض الأمينية، الأحماض الدهنية، والأحماض العضوية،والسكريات، وغيرها، تستخدم من قبل مجموعة متنوعة من البكتريا. وهذه المغذيات الكبيرة في الخلية بعد الكربون هي النيتروجين، والكبريت، والفسفور، والبوتاسيوم، والماغنسيوم، والكالسيوم، والصوديوم، والحديد. يظهر الجدول 6.4 بعض الأشكال الشائعة لهذه العناصر الأساسية المطلوبة لتصنيع مكونات الخلية.

المغذيات الدقيقة Micronutrients

المغذيات الدقيقة (العناصر ضئيلة التركيز) مطلوبة بالقدر بنفسه من الأهمية للتغذية الكلية للكائن الحي مثل المغذيات الدقيقة. وعلى سبيل المثال، يحتاج الكوبالت لتكوين ب 2، كما يقوم الزنك بدور مهم في بنية بعض الإنزيمات، كما أن الملبدينيوم مهم لإختزال النترات، والنحاس مهم للإنزيمات الداخلة في عملية التنفس.

النمو البكتيري Bacterial Growth

في علم الأحياء الدقيقة، يعرف النمو على أنه الزيادة في عدد الخلايا أو المكونات الخلوية. أما إذا كان الكائن الحي عديد النواة (مندمج الأنوية*)،

وحيث لا يكون الانقسام النووي مصحوباً بانقسام خلوي حقيقي (كما هو الحال في البكتريا)، فإن النمو يؤدي إلى زيادة في حجم الخلايا فقط وليس في عددها. أما في في البكتريا، وكقاعدة عامة، فيؤدي النمو إلى زيادة في عدد الخلايا بسبب أن التكاثر يتم عن طريق الإنقسام الثنائي البسيط، حيث تتضخم الخلايا قبل أن تنقسم إلى خليتين بحجم متساوٍ. تزيد بعض الأنواع البكترية عدد خلاياها عن طريق التكاثر اللاجنسي وذلك من خلال التبرعم، مثل المايكوبلازما (mycoplasma).

نمو مجتمعات الكائنات الحية الدقيقة Population Growth

بالنسبة لعالم البيئة، يعد فحص نمو أي كائن من الأحياء الدقيقة بصورة منفردة، أمراً ليس بالسهل وغير عملي، وذلك بسبب حجمها الصغير. لذا فهو يتتبع التغير في التعداد الكلي للمجتمع عند دراسة النمو. يقاس النمو(الذي عرفناه سابقاً كزيادة في عدد الخلايا الميكروبية في مجتمع الكائنات الحية الدقيقة) بالزيادة في كتلة الميكروبات. ويعرف التغير في عدد أوكتلة الخلايا في وحدة الزمن **بمعدل النمو** (growth rate).

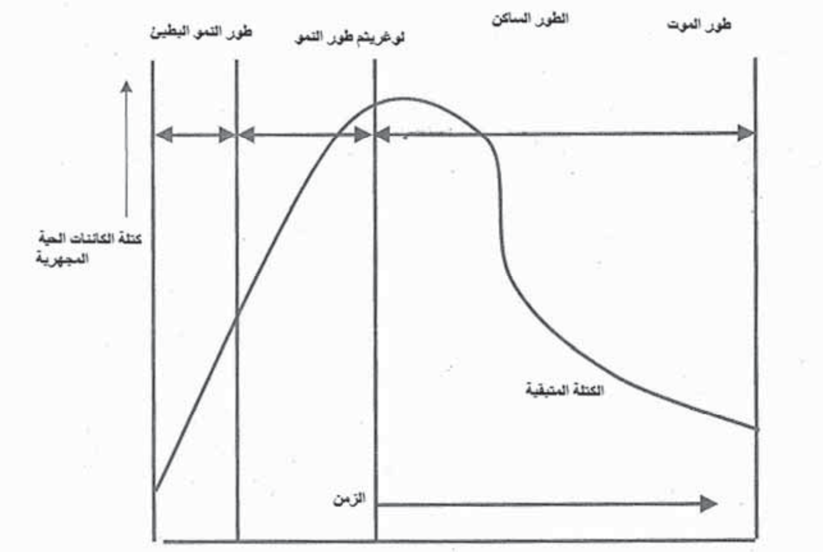
وعندما تضاف الخلايا البكتيرية إلى وسط مناسب وتحفظ في درجة حرارة مثلى، ومن ثم تسحب أحجام صغيرة من هذا الوسط وتزرع (نمو البكتريا في أوعلى وسط غذائي)، في فترات محددة، يصبح من الممكن حساب عدد الخلايا التي تحتويها (ستناقش طرق العد لاحقاً). وبهذه الطريقة، يمكن متابعة ومراقبة نمو المجتمع (الزيادة في عدد الخلايا بمرور الوقت). وبتعيين عدد الخلايا في الزمن المحدد، يمكن الحصول على منحنى النمو. يتباين الشكل الفعلي لكل جزء من المنحنى والأعداد الفعلية للكائنات الحية الدقيقة من نوع لآخر ويعتمد على نوع الوسط المستخدم.

منحنى النمو البكتيري Bacterial Growth Curve

يمكن رسم منحنى النمو البكتيري كلوغاريثم عدد الخلايا مقابل زمن الحضانة.

يتميز المنحنى الناتج بأربعة أطوار.لاحظ أن هذه الأطوار تعكس أحداث مجتمع البكتريا أوالكائنات الأخرى وليس الخلايا المفردة. تشير المصطلحات التالية: الطور الفاصل، والطور اللوغاريثمي، والطور الثابت، وطور الموت، لمجتمعات الخلايا ولا تتطبق على الخلايا المنفردة.(أنظر الشكل 17.4).

***مندمجة الأنوية أو النوى (coemocytic): نوى متعددة ومندمجة**



الشكل 17.4 منحنى النموالبكتيري. الأطوار الأربعة مسماة في الشكل ومعرفة في النص. مأخوذ من آر، أي. مكيني. علم الأحياء الدقيقة لمهندسي الصرف الصحي، 1962.

طور النمو البطيئ Log phase of Growth

لا تبدأ البكتريا بالنمو فوراً عند تلقيحها في وسط غذائي. وعلى ما يبدو فإن هذا التأخر في النمو، والذي قد يكون وجيزاً أوممتداً، يمثل فترة إنتقالية للبكتريا المنتقلة إلى ظروف جديدة. وخلال هذه الفترة الإنتقالية تحتاج وقتاً لحدوث التأقلم ولتصنيع الإنزيمات الجديدة. وعندما تصبح الظروف مواتية يبدأ الانقسام الثنائي، وبعد تسارع معدل النمو تدخل الخلايا إلى الطور اللوغاريثمي.

الطور اللوغاريثمي للنمو The Logarithmic Phase

خلال هذا الطور تنمو عدد الخلايا بأقصى حد ممكن. وتتزايد البكتريا أُسياً بمتوالية هندسية– فخلية واحدة تنقسم لتعطي خليتين، وخليتان تنقسمان لتعطيان أربع خلايا، وأربع خلايا تعطي ثمان، وهكذا دواليك. ولأن كل خلية منفردة تنقسم في وقت مختلف عن الأخريات، يتصاعد منحنى النمو بشكل مصقول (خط مستقيم) وليس على شكل قفزات مفردة. ومن هذه الزيادة اللوغاريثمية في عدد الخلايا، يمكن حساب الزمن المتوسط لانقسام الخلايا، **زمن التوليد** (Generation time).

الطور الثابت للنمو Stationary Growth Phase

في نهاية المطاف يتوقف نمو المجتمع ويصبح منحني النمو أفقياً (الشكل 17.4)، وعندما يحدث هذا، يصبح معدلا النمو والموت متقاربان، ويتم الحصول على مجتمع ثابت من البكتريا. يمكن الوصول إلى هذا الإنتظام في تعداد المجتمع بشكل أساسي بسبب إستهلاك مكون غذائي أساسي في الوسط (في حالة البكتريا الهوائية)، أو وجود كميات محدودة من الأوكسجين بحيث تثبط النمو وتوقف النمو اللوغاريثمي. يقود الطور الثابت في النهاية إلى طور الموت، حيث يتناقص عدد الخلايا الحية في المجتمع.

طور الموت Death Phase

في الظروف المحدودة للمزرعة البكتيرية، تتطور الظروف التي تعجل من معدل الموت. وعندما يحدث هذا الأمر، نقول إن المجتمع في طور الموت. يحدث طور الموت بسبب الظروف البيئية المتمثلة في نفاد المغذيات وتراكم النفايات السامة. ولفترة من الزمن، ستستمر الخلايا في البقاء. وسيحتمل بعضها التراكم المتزايد للنفايات وسيعيش على محتويات الخلايا الميتة. ولكن، عند نقطة ما، ستؤدي الظروف المتحللة إلى موت أقسى الكائنات الحية.

تأثير العوامل البيئية على النمو Effect of Environmental Factors on Growth

يتأثر نمو الكائنات الحية الدقيقة بالظروف الفيزيائية والكيميائية لبيئتها. ويعيننا فهم التأثيرات البيئية على ضبط النمو البكتيري وفي فهم التوزيع البيئي للكائنات الحية الدقيقة.

الحرارة Temperature

تعد الحرارة أحد أهم العوامل البيئية المهمة المؤثرة على نمو وبقاء الكائنات الحية الدقيقة. وفي المقابل، فإن أهم العوامل المرتبطة بتأثير الحرارة على النمو هي الحساسية الحرارية للتفاعلات الحفزية للإنزيمات. وبإرتفاع درجات الحرارة، تتقدم التفاعلات الإنزيمية في الخلية بمعدلات أسرع (مع زيادة النشاط الإستقلابي)، وينمو الكائن الحي الدقيق بشكل أسرع. ولكن، بعد درجة حرارة معينة، يتباطأ النمو. وفي النهاية، ومع إستمرار إرتفاع درجات الحرارة، تفسد الإنزيمات والبروتينات الأخرى ويضطرب الغشاء الميكروبي. وتتعرض الكائنات الحية الدقيقة للأذي أو الموت. وفي العادة، وبزيادة درجات الحرارة، تعمل الإنزيمات الوظيفية بشكل أسرع إلى درجة معينة، حيث يتعرض الكائن الحي للتلف وتنطلق تفاعلات التثبيط.

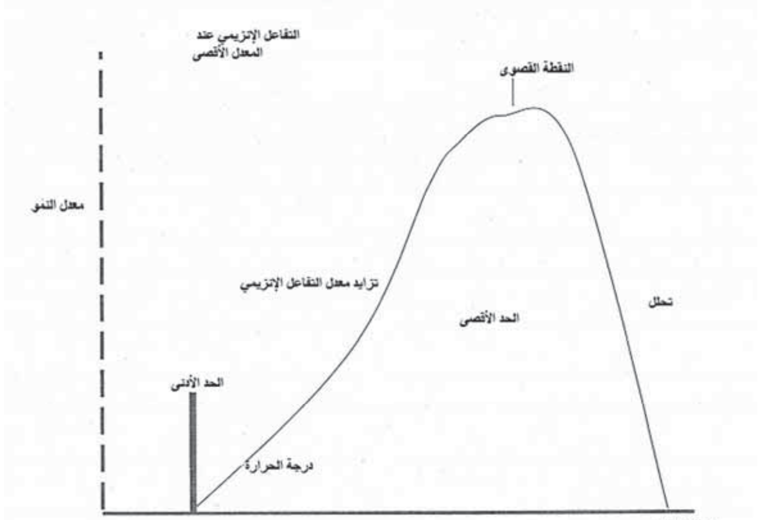
وبسبب التأثيرات المتعاكسة للحرارة، يمتلك كل كائن حي درجة حرارة دنيا لا ينمو الكائن الحي في درجة تقل عنها، ودرجة حرارة مثلى يكون فيها النمو أسرع ما يمكن، ودرجة حرارة قصوى لا يمكن للكائن الحي أن ينمو فوقها(إنظر الشكل 18.4). وعادة ما تكون درجة الحرارة المثلى أقرب لدرجة الحرارة القصوى منها لدرجة الحرارة الدنيا. ورغم أن هذه الدرجات الثلاث والتي تدعى درجات الحرارة الأساسية، غالباً ما تكون مميزة لكل نوع من الكائنات الحية، ومع ذلك فهي غير ثابتة بشكل تام، بل تعتمد إلى حد ما على العوامل البيئية الأخرى مثل المغذيات والأس الهيدروجيني. تختلف درجات الحرارة الأساسية

للكائنات الحية المختلفة بشكل واسع (الجدول 7.4). لبعض الميكروبات درجات حرارة مثلى تتراوح ما بين 0 م إلى 75 م°. وغالباً ما يكون مدى درجات الحرارة الذي يسمح بالنمو أعرض، ويتراوح من درجات حرارة أقل من درجة التجمد إلى درجات حرارة أعلى من درجة حرارة الغليان. وبصورة عامة، يتراوح المدى الحراري لنمو كائن حي دقيق معين ما بين 30 إلى 40 درجة مئوية. يمكن وضعها في واحدة من أربع مجموعات إستناداً إلى المدى الحراري لنموها.

- الكائنات الحية الدقيقة المحبة للبرودة (Psychrophiles) – (ذات درجة حرارة مثلى منخفضة) تنمو بشكل مثالي في درجات حرارة تبلغ 15 م/أو أقل من ذلك، ولا تنموفي درجات حرارة أعلى من 20 م، وحدها الأدنى للنمو هو 0 م أوأقل. يمكن عزل هذه الكائنات الحية الدقيقة بسهولة من البحار القطبية. تأقلمت هذه الكائنات على بيئاتها الباردة بعدة طرق. فعلى سبيل المثال، تعمل أنظمة نقلها، وطرق تصنيع البروتينات، والإنزيمات لديها في درجات حرارة منخفضة. وبسبب من أن هذه الكائنات المحبة للبرودة توجد في بيئات باردة بشكل ثابت، تؤدي تدفئتها إلى درجة حرارة الغرفة إلى قتلها سريعاً، مما يجعل دراستها مخبرياً أمراً صعباً. تشمل هذه الكائنات المحبة للحرارة عدداً من البكتريا سالبة الغرام، وبعض الفطريات والطحالب، والقليل من البكتريا موجبة الغرام.
- الكائنات الحية الدقيقة المحتملة للبرودة (Psychoyrophic)– (إنزيمات ودرجة حرارة مثلى منخفضة) يمكن أن تنمو في درجات حرارة منخفضة تتراوح ما بين 0 م° الى 5 م°، ولكنها تنمو بشكل مثالي في درجة حرارة أعلى من 15 م°، بحد أقصى للنمو يتراوح ما بين 25 م° إلى 30 م°. تعد البكتريا والفطريات المحتملة للبرودة من أكبر المساهمين في إفساد الأطعمة المحفوظة في الثلاجات مثل

اللحوم، واللبن، والخضروات، والفواكه؛ وبتجميد هذه الأطعمة فقط يمكن وقف نمو هذه الميكروبات.

- الكائنات الحية الدقيقة المحبة لدرجات الحرارة المعتدلة (Mesophilic)– (درجات حرارة مثلى معتدلة) تنمو البكتريا من هذا النوع بشكل مثالي في درجات حرارة تتراوح ما بين 20 م° إلى 45 م°. تقع معظم الكائنات الحية الدقيقة في هذه المجموعة. كما تحتوي هذه المجموعة على معظم البكتريا الممرضة للبشر والحيوانات.
- للكائنات الحية الدقيقة المحبة للحرارة– (درجة حرارة مثلى عالية) يمكن أن تنمو في درجات حرارة 55 م° أو أعلى. ودرجة الحرارة الدنيا لها هي حوالي 45 م°، وتتراوح درجة حرارتها المثلى ما بين 55 م° إلى 65 م°. تمتلك القليل من البكتريا المحبة للحرارة درجات حرارة قصوى أعلى من 100 م°. يوجد النوع الأخير في السماد المحروق والشقوق الحرارية المائية في قاع المحيطات، وفي الينابيع الحارة.



الشكل 18.4 تأثير درجة الحرارة على معدل النمووفعالية نشاط الإنزيم التي تحدث مع إزدياد درجة الحرارة.

الجدول 7.4 المدى التقريبي لدرجات حرارة النموالبكتيريا

الكائن الحي	مدى درجة الحرارة (بالدرجات المئوية)		
	الحد الأدنى	القمة الأمثل	الحد الأقصى
البكتيريا (غير القادرة على التمثيل الضوئي)	-10 الى 85	10 الى 105	25 الى 110
البكتيريا (القادرة على التمثيل الضوئي)	70	30 الى 80	45 الى 85
الطحالب حقيقية النواة	-40 الى 35	0 الى 50	5 الى 57
الفطريات	0 الى 25	5 الى 50	15 الى 60
البروتوزوا	2 الى 29	20 الى 45	31 الى 49

مأخوذ من بريسكوت وآخرين، علم الأحياء الدقيقة، 1993، ص 126

الأس الهيدروجيني pH

يعد ضبط الأس الهيدروجيني أحد افضل الطرق للتحكم في نمو الميكروبات. تنمو معظم البكتريا بشكل أفضل في/أو قرب 7 درجات من الأس الهيدروجيني، وهي درجة محايدة، ومعظمها لا يستطيع النمو في ظروف حمضية أو قلوية. يعبر عن حمضية أو قلوية محلول ما بقيمة الأس الهيدروجيني لهذا المحلول، وتعرّف بأنها مقياس لنشاط أيونات الهيدروجين في المحلول. كما تعرّف على أنها القيمة السالبة للوغاريثم تركيز أيونات الهيدروجين. يعتبر تركيز أيونات الهيدروجين مهماً لأنه يؤثر على علاقة الإتزان لعدد من الأنظمة الحيوية والتي تعمل في مدى ضيق للأس الهيدروجيني لا أكثر.

وكما ذكرنا سابقاً، يؤثر الأس الهيدروجيني بشكل كبير على نمو الميكروبات. يتميز كل نوع بمدى معين من الأس الهيدروجيني للنمو المثالي، كما يمكن أن نرى بوضوح في الجدول 8.4.

الجدول 8.4 الأثر التقريبي للأس الهيدروجيني على النموالبكتيري

نوع الكائن الحي	مدى الحد الأدنى	مدى الحد الأقصى
البكتيريا	0.5	9.5
الطحالب	0.0	9.9
الفطريات	0.0	7.0
البروتوزوا	3.2	9.0

مأخوذ من بريسكوت وآخرين، علم الأحياء الدقيقة، 1993، ص 125

عند تزريع الكائنات الحية الدقيقة، يعتبر تعديل الأس الهيدروجيني لوسط التزريع من الممارسات الشائعة. وعلى سبيل المثال، إذا أصبح الأس الهيدروجيني شديد الحموضة، يمكننا إضافة مادة قلوية مثل هيدروكسيد الصوديوم. وإذا كان الوسط ذا أس هيدروجيني شديد القلوية، فمن الممكن أن نضيف مادة حمضية لتعديل الوسط. وبصورة عامة، فإن المجموعات المختلفة من الكائنات الحية الدقيقة تتميز بدرجات متباينة من الأس الهيدروجيني. معظم البكتريا والبروتوزوا، على سبيل المثال، تفضل أساً هيدروجينياً يتراوح ما بين 5 إلى 8 درجات. ومعظم الفطريات وبعض الطحالب تفضل محيطاً أكثر حمضية بقليل من المجموعة السابقة، بأُسِّ هيدروجيني يتراوح ما بين 3 إلى 6 درجات.

وفي بعض الأحيان تعتبر إضافة محلول منظم للأس الهيدروجيني لوسط التزريع أمراً مرغوباً ولتعويض التغيرات الناتجة من تذبذب الأس الهيدروجيني للوسط (للحفاظ على قيمة ثابتة للأس الهيدروجيني). كما تضاف صبغات كاشفة (indicator dye) مشعرة للوسط بحيث تعطي مؤشراً بصرياً مزدوجاً لقيمة الأس الابتدائية والتغيرات (في لون الصبغة) في الأُسِّ الهيدروجيني الناتجة من نشاط نمو الميكروبات.

لكل نوع مدى ودرجة محددة من الأُسّ الهيدروجيني الملائم للنمو. تسمح هذه الخاصية المهمة لمختصي معالجة المياه ومياه الصرف الصحي بدرجة كبيرة من التحكم في مجتمعات الميكروبات. تتميز معظم البيئات الطبيعية بدرجة أُسّ هيدروجيني تتراوح بين 5 إلى 9 درجات، والكائنات الحية في هذا المدى هي الأكثر شيوعاً. تعرف الكائنات الحية الدقيقة التي تعيش في درجات منخفضة من الأُس الهيدروجيني بالكائنات المحبة للحموضة. والكائنات الحية الدقيقة ذات الأس الهيدروجيني المرتفع (يتراوح بين 8.5 إلى 11.5) بالكائنات الحية المحبة للقلوية. لاحظ أن النوعين الأخيرين قد لا تنموان، أو ينموان بشكل بطيء جداً في درجة 7 من الأُسّ الهيدروجيني (الأس الهيدروجيني المتعادل).

توفر المياه Water Availability

يعتبر توفر المياه عاملاً بيئياً آخر يؤثر على نمو الميكروبات. وفي بعض الميكروبات (البكتريا) يشكل الماء 80 % أوأكثر من وزنها. وفي طور النمو، تدخل المغذيات والماء إلى الخلية وتخرج منها، على التوالي، على شكل محلول. ولنمو هذه الميكروبات، يجب أن توجد في أو على بيئة تحتوي على الماء والأيونات في شكل محلول.

كل الكائنات الحية الدقيقة (مثل كل الكائنات الحية) تحتاج الماء لحياتها. وبالفعل، يعتبر وجود الماء أمراً بالغ الأهمية. لا يعتمد توفر الماء على محتوى الماء في البيئة، بل على المواد الموجودة، وذلك لأن بعض المواد يمكن أن تمتص الماء ولا تتخلى عنه بسهولة.

يعبر عن توفر الماء في مصطلحات الفيزياء بمصطلح نشاط الماء (water activity)(a_w)، وهي كمية الماء المتاح في مادة معينة. فنشاط الماء في محلول هو 1/100 من الرطوبة النسبية للمحلول معبراً عنها بالنسبة المئوية. ويعبر عنها كنسبة ضغط البخار للهو اء فوق المحلول، مقسومة على ضغط البخار في درجة الحرارة نفسها لمحلول من الماء النقي:

$$a_w = \frac{\text{ضغط المحلول}}{\text{ضغط الماء}} \qquad (4.4)$$

تتراوح قيم النشاط المائي ما بين 0 إلى 1. بعض القيم الممثلة معطاة في الجدول 9.4.

ينتشر الماء من منطقة ذات تركيز ماء عالٍ وتركيز مذاب منخفض إلى منطقة ذات تركيز منخفض للماء وتركيز مذاب عالٍ. وإذا ما فصلنا ماءً نقياً ومحلولاً ملحياً بغشاء شبه منفذ (Semi permeable)، فإن الماء ينتشر من الماء النقي إلى المحلول الملحي عن طريق خاصية الإسموزية (Osmosis). يحتوي سايتوبلازم معظم الخلايا على تركيز من المذاب أعلى من البيئة، لذا ينتشر الماء إلى الخلية. وإذا كانت الخلية في بيئة ذات نشاط مائي منخفض، فسينتشر الماء إلى الخارج. فبيئة مثل محلول السكر أو الملح تدفع الخلية إلى فقدان الماء. وعندما يحدث هذا الأمر ينكمش الغشاء البلازمي بعيداً من الجدار الخلوي (Plasmolysis) وتجف الخلية، مما يتلف الغشاء، فتتوقف الخلية عن النمو.

الجدول 9.4 نشاط الماء لمواد متنوعة

المادة	قيمة نشاط الماء
الماء النقي	1.000
الدم البشري	0.995
الخبز	0.950
اللحم	0.900
المربى	0.800
الحلوى	0.700

مأخوذ من تي، دي. بروك، وإم، تي. ماديجان. علم أحياء الكائنات الدقيقة، 1991، ص 329.

الأوكسجين Oxygen

تتباين الكائنات الحية الدقيقة في إحتياجاتها من الأوكسجين، أو في احتمالها له. بعض أنواع البكتريا، على سبيل المثال، تحتاج الأوكسجين لنموها. وبعضها الآخر يتطلب غياب الأوكسجين للنمو. في حين يمكن لبعضها أن تنمو بغض النظر عن وجود أوغياب الأوكسجين. يمكن تقسيم الكائنات الحية الدقيقة إستناداً إلى تأثير الأوكسجين. فالكائن القادر على النمو في وجود الأوكسجين الجوي هو كائن هوائي (aerobic)، والآخر الذي ينمو في غياب الأوكسجين لاهوائي (anaerobic)؛ ونطلق على الكائنات التي تعتمد على الأوكسجين الجوي للنمو كائنات هوائية إجبارية (obligate aerobes). أما الكائنات التي لا تحتاج الأوكسجين للنمو، ولكن تنمو بشكل افضل في وجوده فتعرف بالكائنات اللاهوائية الاختيارية (facultative anaerobes).لا تحتمل الكائنات اللاهوائية الإجبارية الأوكسجين وستموت في وجوده.

تتطلب بعض الميكروبات الهوائية نوعاً من التهوية حتى تنمو، وذلك لأن الأوكسجين ضعيف الذوبان في الماء. ينتشر الأوكسجين المستهلك من قبل الكائنات الحية الدقيقة خلال فترة نموها من الهواء الجوي بصورة بطيئة. ولتعويض هذا النقص في الأوكسجين للميكروبات الهوائية المزرّعة، تعد التهوية الإجبارية أمراً مرغوباً. يمكن إنجاز هذا الأمر عن طريق دفع هواء معقم إلى الوسط، أوبطريقة أبسط من خلال هز الأنبوب أو الدورق بقوة.

تتطلب المزرعة اللاهوائية إستبعاد الأوكسجين، وهي عملية صعبة، فالأوكسجين، كما هو معروف، متاح بشكل يسير في الهواء. ولتفريغ الهواء من وسط زرعة الميكروبات اللاهوائية، لا بد من ملء الأنابيب إلى آخرها بوسط التزريع ومن ثم إحكام غلقها. يعد هذا الإجراء مفيداً لتوفير ظروف لاهوائية للكائنات غير الحساسة لكميات قليلة من الأوكسجين. كما يمكن إضافة مادة مختزلة تتفاعل مع الأوكسجين وتستبعده من وسط التزريع. تعد مادة

الثيوجلاكوليت (thioglycollate) من المواد الشائعة الاستخدام لهذا الغرض. يمكن تحديد إستجابة البكتريا للأوكسجين بسهولة وذلك بتزريع البكتريا في أنابيب مملوءة بوسط تزريع جامد أووسط تمت معالجته بعامل مختزل. ولتحديد وجود الأوكسجين في الوسط، تضاف صبغة كاشفة (indicator dye). يشير التغير في لون الصبغة إلى مدى إختراق الأوكسجين للوسط.

الإمراضية Pathogencity

يمكنني التفكير بعدد قليل من الكائنات الحية الدقيقة، مثل العصوية الدرنية (tubercle bacillus)، والبكتريا الحلزونية المسببة للزهري (Syphilis spirochete)، وطفيلي الملاريا (malarial parasite)، وميكروبات أخرى قليلة تمتلك ميزة إنتقائية بمقدرتها على إصابة البشر بالعدوى، ولكن ليس ثمة مكسب لهذه الميكروبات، من منظور تطوري، في مقدرتها على إصابة الإنسان بالمرض. قد تمثل الإمراضية مثلبة لمعظم الميكروبات، فهي تحمل سموماً قاتلة مخيفة لها أكثر منا. فالرجل الذي يصاب بالمكورة السحائية هو في خطر أقل على حياته، وحتى من دون علاج كيميائي، من الحرتوقة السحائية التي ألقى بها حظها العاثر في طريق الرجل. فمعظم المكورات السحائية (meningococci). تفضل البقاء على السطح في البلعوم الأنفي. فهذا هو المكان الذي توجد فيه خلال الأوبئة في غالبية المجتمع المضيف، إذ عادة ما تسير الأمور بشكل جيد.لا يعبر هذا الخط إلاّ من قبل الأقلية، "الحالات"، وهنا يكون الثمن باهظاً على الجانبين، ولكن بشكل أخص على المكورة السحائية (توماس 1974، 76-77).

الجدول 10.4 إنـهيار الأنظمة المائية الذي أدى الى حدوث أوبئة منقولة عن طريق الماء في الفترة بين 1986-1988

نوع المشكلة	أنظمة المياه البلدية	أنظمة المياه غير البلدية	المجموع
المياه السطحية غير المعالجة	1	1	2
المياه الجوفية غير المعالجة	3	9	12
المعالجة	11	12	23
نظام التوزيع	6	0	6
أخرى	1	2	3
المجموع	22	24	46

مركز التحكم في الأمراض، أطلانطا

تعد مقالة توماس عن المأزق الذي تواجهه المكورة السحائية عند دخولها جسم الإنسان جديرة بالملاحظة، فالوقاية من انتقال عدوى الممرضات المنقولة عن طريق الماء. والهواء، والتربة إلى البشر والأشكال الحية الأخرى، هي محور إهتمام علماء البيئة. وعلى سبيل المثال، إن السبب الأكثر شيوعاً للأمراض المنقولة عن طريق الماء في إمدادات المياه العامة في الولايات المتحدة هو عدم الكفاية في معالجة المياه، سواءً كانت المعالجة غير موجودة أوغير فعالة وذلك بسبب خلل في عملية المعالجة، لاسيما في عملية التعقيم. وفي حالة عدم كفاية معالجة المياه أوحدوث خلل في هذا النظام، تحدث معظم الأمراض المنقولة عن طريق المياه غير المعالجة من خلال التلوث بالفضلات البرازية. يظهر الجدول 10.4 بعض التعديلات التي حدثت في نظام معالجة المياه في الولايات المتحدة، كما وردت في تقارير مركز التحكم في الأمراض وذلك في الفترة من 1986–1988.

حتى قبل ظهور ماري مالون (Mary Mallon) (المعروفة أيضاً بماري تايفويد، وهي طاهية أمريكية عاشت في أواخر القرن التاسع عشر وبدايات القرن العشرين) وطهوها لوجباتها اليومية ونقلها من خلالها مرض التايفوئيد

لزبائنها، شك الناس في علاقة بين الكائنات الحية الدقيقة وهذا المرض. ومن ناحية تاريخية، وحتى قبل إكتشاف الكائنات الحية الدقيقة المسببة للمرض والمنقولة عن طريق الماء، شك الناس في العلاقة بين المياه وانتشار الأمراض. بدأ بحث البشر عن حقيقة المرض والميكروبات المسببة له قبل حوالي 2600 عام، وذلك عندما شك أبقراط، أبو الطب،أن أنواعاً مختلفة" من المياه تسبب أنواعاً مختلفة من المرض. تطلبت البرهنة على هذا الأمر قروناً عديدة، حتى أخترع فان لفينهوك المجهر الضوئي في سنة 1675. فتح مجهر لفينهوك، والتحسينات العديدة التي حدثت له بعد ذلك، العالم المجهري للإنسان. كانت القارضيا (Giardio) أول كائن حي دقيق يدرس ويوصف من قبل لفينهوك. وأخيراً، وفي القرن التاسع عشر دحض علماء عظام آخرون مثل روبرت كوخ ولويس باستير، النظرية القديمة للأبخرة السامة المنبعثة من الأوساخ المتحللة كمصدر للمرض، وعوضاً عن ذلك طوروا نظرية الجراثيم.

في بداية هذا القسم ناقش لويس توماس محنة المكورات السحائية التي يقودها حظها العاثر إلى دخول جسم الإنسان. وبعد قراءة مناقشة توماس قد يظن القارئ أن الكائنات الحية الدقيقة الممرضة لا تمتلك أي دفاعات وهي غريبة داخل جسم الإنسان. ولكن هذا غير صحيح. يمكن للكائنات الحية الدقيقة أن تتأقلم. وكمثال على ذلك، ضع في إعتبارك المقالة الوصفية التالية للتحديات التكيفية التي تواجه البكتريا الممرضة المنقولة عن طريق المياه عند شربها من قبل بعض الناس غير المحظوظين.

في الماء، تعيش هذه البكتريا في بيئة تقل درجة حرارتها عن 37 درجة مئوية، كما أن تركيز المغذيات والقوة الاسموزية منخفضين، والأُسّ الهيدروجيني متعادلاً تقريبا. ويكون هنالك بعض الأوكسجين المتاح على الأقل. وعند بلع هذه البكتريا، تواجه فجأةً بدرجة حرارة أعلى، وقوة إسموزية أعلى، ومن ثم تتعرض مؤقتاً لدرجة منخفضة من "الأُس الهيدروجيني" في المعدة، يلي ذلك

إرتفاع للأُس الهيدروجيني في الماء مع تراكيز عالية للأملاح الصفراوية المدمرة للأغشية. بالإضافة إلى ذلك، تعد البيئة في الأمعاء الدقيقة، وإلى حد كبير في القولون، بيئة لاهوائية.

من ناحية أخرى ستجد البكتريا مصادر وفيرة للكربون والطاقة في الأمعاء، ولكن أشكال هذه المركبات ستكون مختلفة عن تلك التي استخدمتها في الماء. تذكر أن البكتريا الواردة لا تملك الكثير من الوقت للتأقلم على هذه البيئة الجديدة، وذلك لأن سويعات قليلة تفصل بين وصولها إلى الأمعاء الدقيقة وانتقالها إلى القولون، حيث ستواجه منافسة شرسة من أنواع البكتيريا المقيمة هناك (سليرز وويت 1994، 64-65)

وعند وضع التحديات التكيفية التي تواجه البكتريا المنقولة عن طريق المياه ومقدرتها على القيام بهذه التأقلمات، قيد الإعتبار، مع الاعتراف بأن البكتريا الممرضة قد طورت لنفسها وسائل دفاعية، يصبح من السهل إدراك أن القضاء على البكتيريا أمر شديد الصعوبة. وتعد مواجهة هذه الوسائل التحدي الأكبر الذي يعترض إختصاصي معالجة المياه ومياه الصرف الصحي في المستقبل. وإذا ما وضعنا في إعتبارنا حقيقة أن الكائنات الحية الدقيقة الممرضة تمتلك قدرة كبيرة على التكيف والبقاء، تتضح لنا حتمية أن تتطور وتتأقلم طرق المعالجة الحيوية هي الأخرى.

العوامل المسببة لانتقال الأمراض

Causal Factors For Transmission of Disease

لا بد من توفر عوامل معينة لإنتقال المرض. يتعلق بعض هذه العوامل بالشخص المريض (**المضيف** –host–) والكائن الحي الدقيق (**العامل –agent–**)، والبيئة. بالنظر للأمراض العديدة ذات الأصل الميكروبي، نجد أن بعضها ينتج من الفيروسات، وبعضها من الفطريات، وبعضها من البكتريا، وبعضها الآخر من البروتوزوا. لاحظ أن المرض لا يتبع بالضرورة التعرض

لعامل ممرض معين. ولحدوث المرض، عدد من العوامل يجب أن تكون موجودة. وتشمل هذه العوامل :

1. الممرض(العامل المسبب –pathogen–). يطلق على أي كائن حي يمكن أن يسبب مرضاً "**عاملا ممرضا**"، وعادة ما يكون هذا الممرض كائناً طفيليا يعيش على أو في كائن حي آخر. في بعض الأمراض يكون الارتباط بين الممرض والمرض محدداً جداً، بمعني أن الممرض قد ينقل العدوى إلى أنواع معينة من المضائف. وبالإضافة إلى كونه يعمل بشكل إنتقائي، إلا أن قدرة العامل الممرض على إحداث المرض تعتمد على عدة عوامل مختلفة، وتشمل هذه العوامل مدى أودرجة مقاومة المضيف ومقدرة الممرض على إحداث المرض.
2. مستودع الممرض (pathogen reservoir). يعيش العامل الممرض ويتكاثر في مستودع (reservoir)، وهو غير قادر على التكاثر والنمو خارج هذا الموقع. ويمكن للبشر، والحيوانات، والنباتات، والمادة العضوية، و/أو التربة أن تعمل كمستودع للعامل الممرض. هذا يُعد جسم الإنسان مستودعاً مهماً للميكروبات الممرضة، وتعد هذه الكائنات الصغيرة جزءاً طبيعياً من الكائنات المجهرية، وعادة لا تتصرف كعوامل ممرضة ما لم يحدث إختراق عن طريق الجراح أو الإصابة. وعند حدوث هذا الأمر تختل دفاعاتنا المتخصصة وغير المتخصصة ويشار إلى هذا النوع من العوامل الممرضة بالعوامل الممرضة الإنتهازية (opportunistic).
3. انتقال الممرض من المستودع. تدخل العوامل الممرضة إلى الأنظمة البشرية من الفتحات الجسدية في الأجهزة التنفسية، البولية، والمعوية، ومن العدوى المفتوحة، وبطريقة ميكانيكية من خلال التلف أو الأذي الناتج من الإصابات.

4. انتقال المرض إلى مضيف آخر. يمكن للانتقال أن يتم بطريقة مباشرة أوغير مباشرة. في الانتقال المباشر ينتقل المرض (عن طريق لسع أو عض الحيوان على سبيل المثال) مباشرة إلى مضيف جديد. ويتم الانتقال غير المباشر عبر نواقل أوحوامل. يمكن لهذه النواقل أن تكون من البعوض، والقمل، والقراد، أوكائنات لا فقارية أخرى. أما الحوامل فهي مواد مثل اللبن، والطعام، والهواء، والمواد الأخرى غير الحية الناقلة للعامل الممرض.
5. فوعة الممرض (virulence). يعتمد حدوث المرض على (مقدرته على إحداث المرض).
6. درجة المقاومة للإنتقال. يمتلك البشر طرقاً للدفاع ضد المرض. وعلى سبيل المثال يوفر جلد الإنسان طريقة الدفاع الأولية ضد الأمراض المعدية. ولمعظم الأمراض لابد من وجود جروح أو لسعات حشرية في الجلد حتى تستطيع المرور عبر هذا الحاجز الوقائي.

لينتشر المرض، لابد من وجود ناقل، وسط، أوفرصة للإنتشار. وهنا يأتي الدور الحيوي لإختصاصي معالجة المياه ومعالجة الصرف الصحي. فإذا شرب شخص ما ماءاً غير معالج قد يصبح هذا الشخص ناقلاً للأمراض المنقولة عن طريق المياه. تسببت ماري تايفويد في إصابة العديد من الناس بحمي التايفوئيد، من دون أن تظهر هي نفسها أي أعراض لهذا المرض القاتل، لذا فقد كانت ناقلة للمرض.

قد تأتي الكائنات الممرضة الموجودة في المياه ومياه الصرف الصحي من أناس ناقلين للمرض. تضم المجموعات الأساسية للكائنات الممرضة الموجودة في المياه ومياه الصرف الصحي البكتريا، الفيروسات، والبروتوزوا، والديدان. تعد هذه الكائنات المعدية جداً مسؤولة عن عدد لا يحصى من الوفيات، ولا

تزال مستمرة في قتل أعداد كبيرة من البشر ومن الوفيات في الأجزاء الأقل نمواً من العالم.

يوجد توثيق جيد للمشاكل المتعلقة بالأمراض المنقولة عن طريق الماء في الأجزاء الأقل نمواً من العالم. وفي إحدى الحوادث، على سبيل المثال رصد التقرير الذي اعده رايس وآخرون (1992) أنه وفي العام 1991 شهدت مدينة بيورا، وهي مدينة بيروفية يزيد تعداد سكانها على 350 ألف نسمة وفي فترة تصل إلى شهرين، 7 ألف و922 حالة مرضية و17 وفاة، نتيجةً لوباء الكوليرا. وخلال التحقيق، أظهر مسح لنتائج التزريع في احد المستشفات أن 80% من حالات الإسهالات نتجت من الكوليرا. وأظهرت دراسة أخرى لخمسين حالة من المرضى و100 من المجموعة الضابطة (control) أن الكوليرا مرتبطة بشرب الماء غير المغلي، وتناول المشروبات من الباعة المتجولين وأكل الطعام منهم. لاحظ في الدراسة الثانية أن المرضى كانوا أكثر ميلاً من المجموعة الضابطة لتناول المشروبات المثلجة، وأن هذا الثلج يتم إنتاجه من المياه البلدية. وأظهرت الاختبارات التي أجريت على المياه البلدية عدم وجود، أو وجود كمية غير كافية من الكلورة، كما تم العثور على بكتريا عصوية برازية في معظم العينات المفحوصة. وبسبب إنتشار أوبئة الكوليرا عبر أمريكا اللاتينية، فإن هذه النتائج تشدد على أهمية توفر مياه شرب آمنة، وبشكل أكثر تحديداً، تظهر نتائج هذه الدراسة أنه وعلى الرغم من أننا قد قطعنا شوطاً طويلا في المعركة ضد الأمراض المنقولة، عن طريق المياه، ورغم نجاحنا في معظم الأحيان، إلاّ أن أجزاء أخرى من العالم لا تزال تكافح هذه المشكلة المهددة للحياه. فالكوارث الطبيعية والحروب، على وجه الخصوص، يمكن أن تخل بمعالجة المياه ومياه الصرف الصحي، مما يخلق الفرصة لانتشار الأمراض.

دراسة حالة 3.4 Case Study

حرب الخليج الأولي ومعالجة المياه

First Gulf War and Water Treatment

تم إعادة نشر المقالة التالية من مجلة الأولمبيان، من أوليمبيا، واشنطن بتاريخ الأحد 29 يونيو 2003.

مياه العراق الفاسدة تجلب المرض، وتقلق عمال الإغاثة: Iraq's bad water bring disease alarms relief worker

نجت البنية التحتية لنظام المياه العراقي من 15000 قنبلة أثناء الحرب، ولكنها إنهارت تحت وطأة الكوارث التي تلت ذلك.

فعمليات النهب والسلب وإنعدام القانون وعدم ثبات الإمداد الكهربائي أعاقت، أو شلت المئات من خطوط المياه، ومنشآت معالجة مياه المجاري، ومحطات الضخ وأفرغت مخازن الإمدادات.

في القسم الجنوبي لميناء البصرة، حيث المياه الجوفية مالحة بطبيعتها، وآبار المياه لا فائدة منها، بدأت المنظمات الإنسانية في رفع تقارير تحذر من نقص في مياه الشرب بدءاً من شهر أبريل.

ومع ذلك في 15 مايو وصف رئيس السلطة المدنية الأمريكي، الذي وصل حديثاً إلى البصرة، جودة مياه الشرب بأنها " أفضل مما كانت عليه قبل سنوات " وبهذا تفاخر بول بريمر، وهو رئيس سلطة التحالف الذي قادته الولايات المتحدة في العراق.

كانت هذه التصريحات على تناقض كامل مع تعليقات موظفي منظمة الصحة العالمية واليونيسيف الذين كانوا يحذرون، في اللحظة نفسها من تفشي الأوبئة المنقولة عن طريق المياه في ثاني اكبر مدن العراق.

تشير تصريحات بريمر الى المشاكل التي تواجه الغرباء حين يحلون في بلد أجنبي ليقيموا ويحكموا، كما يقول عمال الإغاثة.

يذكر البنتاغون أن النتائج التي توصل إليها تستند جزئياً إلى المستويات العالية للكلور التي يتم العثور عليه في منشأآت معالجة المياه في البصرة في حين أن عمال الإغاثة المدانين الذين كانوا يختبرون خطوط المياه التي تجري داخل المدينة ومياه الحنفيات في المنازل السكنية لم يجدوا أي كلور، ولم يجدوا سوى التلوث.

يعتقد جيوف كيل، من منظمة اليونيسيف، أن هذا الأمر نتج من تسرب التلوث عبر ثقوب في الخطوط غمرت النظام.

قام بعض سكان ضواحي البصرة، الخائفين من حدوث فوضى نسبية في وسط المدينة، بإحداث ثقوب في خط المياه الرئيسي، والذي يمتد على طول 10 أميال فوق سطح الأرض، وذلك للحصول على مياه الشرب. تسببت هذه الثقوب في دخول البكتريا وفي تلوث المياه الجوفية، كما يقول كيل.

تعزو منظمة اليونيسيف بعض الأعطال والتي يتجاوز عددها 500 في خطوط المياه الواصلة إلى بغداد إلى " الصدمات الناتجة من تأثير القصف على الأرض ".

ولكن، وعلى حد قول كيل، فإن أعمال السلب والنهب التي تلت " قد خلقت وسببت تدميراً وتلفاً أكثر من المعركة نفسها"، كما أوجدت بحيرات من مياه المجاري في بغداد نتجت بالإضافة إلى ذلك من تذبذب التيار الكهربائي نتيجة للتلف وأعمال النهب التي حدثت في منشآت الطاقة التي تسير معالجة مياه المجاري. ومع وجود مولدات طوارئ إحتياطية، إلا أنها لم تستطع تشغيل المنشأآت بنفس طاقتها الطبيعية.

"منحني التعلم الحاد " "Steep learning curve"

يقول كيل إن الولايات المتحدة، وبريطانيا، واستراليا – وهم الأعضاء الأساسيون لسلطة التحالف – يعملون على تحسين الظروف في العراق، ولكنهم يعانون من "منحنى تعلم حاد".

يقول كيل من فندقه في بغداد: "ظلت منظمة اليونيسيف تعمل في هذا البلد على الأرض لمدة عشرين عاماً". "ويتوجب على سلطات التحالف أن تنشئ علاقات مثل هذه، وهذا يتطلب وقتاً .... ولسوء الحظ لا يمتلك الناس هنا الكثير من الوقت، وهم يشعرون باليأس".

رصدت منظمة الصحة العالمية 73 حالة من الكوليرا في الفترة من 28 أبريل إلى 4 يونيو 2004 في العراق. وجدت 68 من هذه الحالات في البصرة – أكثر بعشر مرات من الحصيلة التي وجدها موظفو منظمة الصحة العالمية خلال الفترة نفسها من العام السابق. تنتج الكوليرا، وهي مرض معدٍ ينتقل عن طريق المياه، من بكتريا تنتعش في الجو الحار. وتفوق درجات الحرارة في العراق 100 درجة على مقياس فهرنهايت، والشهور الأكثر سخونة لا زالت أمامنا.

" قد تبدو الإسهالات مرضاً تافهاً لمعظم العالم، ولكن في العراق – وفي هذه الظروف – يمكنها أن تقتل" – على حد قول هانز فون سبونيك (Hans von sponeck)، وهو مسؤول سابق في البعثة الإنسانية إلى العراق.

في الأسبوع الماضي، وبعد مرور أكثر من شهر منذ أن حذرت الأمم المتحدة من أوبئة منقولة عن طريق المياه في البصرة، وافق البنتاغون على عقد خاص لإستبدال أجزاء من منشئات معالجة المياه الأربعة.

كما أعاد المسؤولون العسكريون توظيف 2000 من ضباط الشرطة في البصرة وذلك لردع الخارجين على القانون من نهب منشآت الطاقة ومحطات الضخ ومخازن الإمدادات.

وكما يقول كيل، تم نهب المحطة الرئيسية للضخ التي تخدم مائة ألف من سكان البصرة. وقد تم نهب معداتها، وأسلاكها، وأبوابها، وإطاراتها، وحتى الصواميل، والمسامير.

لم تبد مارغريت حسان (Margaret Hassan)، وهي المدير القطري

لمجموعة (CARE) الإنسانية الدولية، أي انبهار بالتعزيزات الأمنية.

" لقد أتوا بعد أن فرَّ الحصان، إذا كنت تفهم ما أعني،" على حد قولها. وقد تم اختطاف عربتين تابعتين للشركة، وأصيب أحد حراس مخزنها بطلق ناري في شهر مايو.

والآن، تعمل طواقم الطوارئ من منظمة اليونيسيف في جنوب العراق على إصلاح محطات الضخ وخطوط المياه ومنشآت معالجة مياه المجاري، كما توزع منشورات تشرح لماذا يتوجب عدم استخدام مياه الشرب بصورة مباشرة دون معالجة.

كما تشرف هذه الطواقم على قافلة من شاحنات المياه ومقطورات الشحن التي بدأت في الوصول هذا الشهر محملة بإمداد يكفي ثلاثة شهور من مادة الكلور اللازم لمعالجة المياه، الشيئ الذي سيعزز من إمداد الطواريء التي تم طلبها حديثاً من قبل سلطات التحالف.

القنوات النتنة Fetid canals

في الثمانية شهور الأولى لعام 1991، وبعد أن تم تدمير البنية التحتية للمياه أثناء حرب الخليج، رصدت مجلة *نيوانجلند* للطب أن حوالي 47,000 من الأطفال ماتوا في العراق، وأن معدل وفيات الأطفال الرضع قد تضاعف إلى 92.7 لكل ألف ولادة حيّة.

يستهلك الناس الذين يعانون من الجفاف بسبب الإسهالات والكوليرا كمية أكبر من المياه. وبتعرض الخط الرئيسي للمياه في البصرة للتدمير، لجأ بعض السكان لسحب مياه شربهم من قنوات الري التي تطفح بالنفايات النتنة الناتجة من تعطل منشآت مياه المجاري.

استمرت منظمة الصحة العالمية في ذلك الشهر في وصف حالة المياه في البصرة بالحرجة، وحذرت من أن الخطوات التي تم إتخاذها من قبل منظمة اليونيسيف ستكون قصيرة الأجل.

“ قد لا تتذكر الحرب ولكن هذه قضية حية. إذا قمنا بفعل شيئ ما، وهو الشيء العقلاني والإنساني، فقد يمكننا إنقاذ الكثير من الأرواح البريئة"، على حد قول توم ناجي (Tom Nagy) البروفسور في جامعة جورج واشنطن، والذي سافر إلى العراق مع فريق من المهندسين وموظفي الصحة.

طافت مجموعة ناجي على المستشفيات ومنشأآت معالجة المياه لتقييم العواقب المدنية للحرب، وانضمت إلى فون سبونيك (Von Sponeek) في تحذير الولايات المتحدة من مخاطر البنية المدنية الهشة في العراق.

ويذكر أنه وخلال 13 عاماً من عقوبات الأمم المتحدة كانت المضخات والأنابيب ومعدات أنظمة المياه الأخرى الواردة للعراق تفتش خوفاً من أن يتم تحويلها إلى أسلحة. ولقد حولت العقوبات العراقيين إلى " مجتمع من عمال الصيانة" كما يقول فون سبونيك والذي إستقال من منصبه في الأمم المتحدة احتجاجاً على العقوبات.

" كان العراقيون على الدوام يحاولون إصلاح معدات بالية كان يتوجب التخلص منها، واستبدالها .... وكان النظام شديد الهشاشة حتى قبل الحرب.”

الطفيليات والممرضات Parasites and Pathogens

تظهر أحد أشكال الإمراضية عندما تحصل الكائنات المجهرية الطفيلية على مغذياتها اللازمة للنمو عن طريق العيش على أو في مضيف حي. وينتج شكل آخر من الإمراضية عندما تنتج مواد سامة من هذه الممرضات.

وتشمل الأحياء الطفيلية، الفيروسات، والبروتوزوا، والديدان– في حين تعد البكتريا، والفطريات، والاكتينومايسيت (Actinomycetes) ممرضات (pathogens). وتعتبر كل الفيروسات طفيلية. أما البروتوزوا فهي طفيليات تدخل عادة إلى/ وتعيش في الجهاز الهضمي للبشر والحيوانات، أما الديدان فهي تملك نوعين من الأشكال الطفيلية :الديدان المستديرة، والديدان المسطحة (الشريطية).

وبمقدرة الطفيليات والممرضات الجرثومية التأقلم والبقاء في الجسم البشري، في حين تمتلك الطفيليات دفاعات ضد جهودنا لتدميرها والتخلص منها. هذا ولا يجب أن تكون هذه القدرات على التأقلم للكائنات الحية الطفيلية مبعث دهشة لنا، فإن البشر، ومن خلال التطور، إستطاعوا تطوير طرق لحماية أنفسهم (وبناء مقاومة) من الطفيليات والبكتريا.

تذكر، إنه خلال عملية التطور البشري، وتعزيز قدرتنا على محاربة المرض، لم تبق الكائنات الحية الدقيقة الطفيلية ساكنة، فقد تطورت هي الأخرى أيضاً. ضع في إعتبارك أن تأثير مضادات حيوية معينة على الممرضات التي سبق أن استخدمت ضدها بشكل ناجح قبل عدة سنين أصبحت. اليوم أقل فعالية لأن الممرضات طورت طرقاً لتلافي تأثير هذه المضادات، بحيث وصلت إلى نقطة لم تعد معها قادرة على توفير دفاعاً ضد المرض. ويشير ساليرز وويت (Salyers and whitt) إلى الطريقة المدهشة التي استطاعت من خلالها البكتريا الممرضة تطوير إستراتيجيات تمكنها من البقاء ضد الأفعال الدفاعية المتنوعة التي نطبقها عليها. وعلى سبيل المثال تعد التراكيب الخلوية للبكتريا مثل تكوين الكبسولة، والجدر الخلوية السميكة، وتكوين الأبواغ وسائل دفاعية طورتها البكتريا بمرور الزمن وبالتعرض المستمر لمضادات الحيوية المختلفة. "إن البكتريا على ما يبدو ميكافلية " (1994).

البكتريا ليست وحيدة في مقاومتها لمحاولات تدميرها. خذ الفيروسات على سبيل المثال، فهي محمية من معظم عمليات المعالجة الكيميائية وبسبب تركيبها الكيميائي. تعطي البروتوزوا أمثلة أخرى على التأقلم على التكيف. على سبيل المثال، طورت البروتوزوا جداراً خلوياً ذا تركيب خاص يحمي الأشكال الكيسية. أما الديدان فعادة ما تكون قادرة على مقاومة تدميرها بسبب الدرع الصلب الذي يحيط ببيوضها. يمكن للبروتوزوا الطفيلية أن تبقي على قيد الحياة خارج القناة المعوي في البراز، كذلك على شكل كيس ذي جدار سميك يوفر لها المقاومة

ضد المعالجة. يوجد أكبر معدل للإصابة بمرض القارضيا بالولايات المتحدة في المجتمعات التي تستخدم إمدادات المياه السطحية، حيث تكون عملية التطهير هي المعالجة الرئيسية لمياه الشرب. كما يمكن نقل القارضيا عن طريق الأطعمة الملوثة، والمجاري الجبلية، ومياه الصرف الصحي الملوثة بالبراز. وأفضل طريقة في التحكم يمكن أن تستخدم ضد عدوى البروتوزوا المنقولة عن طريق المياه هي أن نستخدم أجراءات تعقيم ملائمة (ويعني ذلك، غلي المياه وغسل الأيادي بالماء والصابون).

التحكم في المرض Control of Disease

يقول ايوالد (Ewald, 1996) إن التحكم في المرض يمكن أن يكون مقدوراً عليه بشكل أكبر إذا ركزنا إنتباهنا على الممرضات المرشحة لأن تصبح أكثر خطورة – على الرغم من أن عدم التوافق سيظل قائماً حول القدرة على التنبؤ، ومنع حدوث هذه الممرضات الجديدة. ومع ذلك يشدد ايوالد على أن التعرف على هذه الممرضات يعتمد على خاصيتين أساسيتين، هما المقدرة على الانتشار بسهولة من إنسان لآخر عبر النواقل، وخواص الانتقال التي تنتقي أعلى مستوى من الفوعة.

دراسة حالة Case Study 4.4

فيروس النيل الغربي West Nile Virus

أصبحت الأمراض المنقولة عن طريق لسع البعوض قضية حيوية لسلامة أي شخص يمضي وقته في الخارج. فلسع البعوض الذي لا تسبب الحكة والإزعاج وحدهما، بل أصبح تفادية، مع الإنتشار السريع لفيروس النيل الغربي أمراً ضرورياً، لاسيما في المجتمعات المعرضة لهذا الخطر. ولقد تم الإبلاغ عن هذا الفيروس لأول مرة في العام 1999، في أربعة ولايات ساحلية شرقية. ولكن، وبحلول عام 2000 وجد الفيروس في 12 ولاية في مناطق الشمال

الشرقي والمناطق الوسط أطلسية. وأشارت تقارير صيف 2001 أن فيروس النيل الغربي في البشر والأحصنة سينتشر إلى منطقة واسعة قبل الإنتقال لموسم 2002، وهو الأمر الذي حدث فعلاً – فقد توسع إلى 27 ولاية شاملاً بعض الولايات في الغرب الأوسط. وفي العام 2002 إنتشر الفيروس إلى 44 ولاية ووصل إلى الساحل الغربي. وبحسب أرقام مركز التحكم في الأمراض العام 2003 (رفعت في تقرير في أبريل 2004) أصبح فيروس النيل الغربي موجود في كل الولايات ما عدا أربع (واشنطن، وأوريجون وألاسكا، وهاواي) وهو مسؤول عن 2863 حالة معروفة من الأمراض التي تغزو الأعصاب. و6829 حالة من الحمى – مما يعطي مجموع 9858 حالة مرصودة من قبل مركز التحكم في الأمراض – و262 حالة وفاة في العام 2003 وحده (ولاية بنسليفانيا). (لم يتم تجميع الأرقام لموسم 2004 لحين طباعة هذا الكتاب).

إنتشرت رقعة الإصابة بالمرض من المنطقة الأولية، والمتمركزة حول منطقة مدينة نيويورك، بالمزيد المزيد من حالات الإصابة التي رصدت في عدد من ولايات الشمال الشرقي ومنطقة وسط الأطلنطي. وتحرك الإنتشار بسرعة بإتجاه الجنوب والغرب. عادة ما مثلت المدن الكبيرة، وخصوصاً تلك التي توفر موانيء عالمية للسفر والتجارة نقاط بدء لإدخال الأمراض الغريبة – هو أمر مرتبط مع، ولكن ليس بالضرورة على علاقة بانتشار الأنواع الغازية. في حين اصبح العالم أكثر حركية، أصبح بمقدور الأمراض المرتبطة بمكان معين في العالم أن تنتقل بسرعة مذهلة. وهكذا وجد الممرض (Pathogen) أو ناقله ظروفاً مناسبة، فسينمو مثله مثل النباتات أو الحيوانات والكائنات الأخرى التي تجد لها موئلاً فتنمو بغياب أعدائها الطبيعين؛ فنحن لا نملك مناعة مجتمعية مبنية ضد أمراض من أجزاء أخرى من العالم.

يؤثر البعوض والطيور المصابة به على إنتشار فيروس النيل الغربي للبشر والثدييات الأخرى. وقد تنشر الطيور المهاجرة الفيروس لمناطق أخرى حيث

يلتقط البعوض الدم المصاب به، ويواصل نقل العدوى. ومن غير الممكن وقف انتشار المرض المنتقل عن طريق الطيور المهاجرة، على الرغم من أن طقس الشتاء البارد يمكن أن يجمد جيوباً من البعوض الناقل للمرض.

المراجع References

كلية العلوم الزراعية بجامعة بنسلفانيا الولائية/إمتداد الأبحاث الزراعية والتعاون/ إنسفلايتس غرب النيل: ما تحتاج معرفته:
Pubs.cas.psu.edu/pdfs/uo207.pdf
لمعرفة المزيد عن نشاط فيروس غرب النيل في العام 2003 في الولايات المتحدة (في التقرير المرفوع يوم 14 أبريل، 2004)، إنظر:
www.cdc.gov/ncidod/westnile/surv&control.htm

تشمل خواص الانتقال الفيروسي التي تعزز الفوعة ما يلي:

- أن ينتقل الفيروس عن طريق ناقل ويكون البشر جزءاً من دورة حياته.
- القدرة على تحمل البيئة الخارجية إذا كان الانتقال مباشراً.
- أن يكون قادراً على الانتقال عن طريق الحقن أو الأشخاص المعنين بالرعاية الطبية، و
- أن ينتقل عن طريق الاتصال الجنسي ويكون عرضة للطفرات، مع ميله لإصابة أنواع مهمة من الخلايا (منظمة الصحة العالمية 1995).

إن فهم التهديد طويل الأجل للكائنات المسببة للأمراض الجديدة والموارد المطلوبة لملاحقة هذا الخطر تتعزز من خلال معرفة هذه الخواص التطورية.

الخلاصة للتحكم بالمرض : أشار مور (2002) إلى أننا لا نقدر أن نخمن أين، ومتى، أوكيف، سيظهر المرض القادم، أو متى يعاود ظهوره، أو تأثيره على الأفراد، أو المجتمع، أو أي أمة، أوالعالم. وأن الإجابة النهائية هي إجراء

المزيد من البحث وتطبيق المزيد من الموارد.

ملخص الفصل Chapter Summary

يعد علم الأحياء الدقيقة الأساس لعلم المحيط، وللأداء اليومي لما يستخدمه علماء البيئة بشكل يومي. تعد هذه المعلومات التقنية، والمهارات اليدوية للتعرف، والتصنيف، والاختبار، والإحصاء، والتقييم، على ارتباط مباشر مع الكيمياء العضوية، ومفاهيم علم السموم التي ستقدم في الفصل القادم.

أسئلة للمناقشة وحل المشكلات
Discussion Questions and Problems

1. ميّز بين الكائنات الهوائية، واللاهوائية والاختيارية.
2. كيف تستطيع الفطريات تناول الغذاء ؟
3. فرق بين الخلايا حقيقية النواة والخلايا ذات النواة الكاذبة.
4. ما هو الأنزيم ؟ وماذا يفعل ؟
5. ما هو العامل الحفاز ؟ وماذا يفعل ؟
6. ما هو غرض الاستقلاب ؟
7. اشرح دورة كربس
8. ما أهمية دراسة الكائنات الحية الدقيقة لعالم البيئة ؟
9. هل أن جميع الميكروبات مضرة أو مؤذية؟ اشرح إجابتك.
10. اشرح عملية التنقية الذاتية في المجاري.

مواضع مقترحة للبحث والمشاريع
Suggested Research Topics and Projects

- تفحص الأوبئة الميكروبية " المد الأحمر "على سبيل المثال أو الفستيريا (pfiesteria).

- إجرِ بحثاً عن السيرة الذاتية للينوس.
- تفحص تاريخ وتطور النظام الثنائي للتسمية العلمية.
- إجرِ بحثاً عن دورات حياة البكتريا المسببة للمرض.
- إجرِ بحثاً عن آخر التطورات في أبحاث البكتريا.
- إجرِ بحثاً عن أكبر كائن حي في العالم.
- إجرِ بحثاً عن سيرورة التعرف على الفطريات (تشخيصها).
- إجرِ بحثاً عن مرض ليجونير – تاريخه، وأسبابه، وتأثيراته
- إجرِ بحثاً عن البروتوزوا الطفيلية الممرضة المرتبطة بمرض الإنسان أو قضايا الصحة.
- تفحص دورات حياة البكتريا والتغيرات في عملية الوحل المنشط.
- تفحص نظام تصنيف الأنزيمات للاتحاد العالمي للكيمياء الحيوية.
- إجرِ بحثاً موسعاً عن الاستقلاب (الفعالية الحيوية).
- إستطلع الخاصية الاسموزية والنشاط المائي للكائنات الحية الدقيقة.
- إجرِ بحثاً عن أعطاب خدمات المياه أوفشلها في منطقتك.
- استطلع تاريخ أو أُكتب سيرة ذاتية عن ماري تايفوئيد
- إستطلع تاريخ أواكتب سيرة ذاتية عن لفينهوك.
- تفحص تأقلم الميكروبات وبقاءها؛ ومشاكل صحة الإنسان المتعلقة بذلك – وعن مرض السل المقاوم لمضادات الحيوية.

Cited References المراجع المثبتة

Breslow, R. *Enzymes: The Machines of Life*. Burlington, N.C.: Carolina Biological Supply Co., 1990.

Brock, T. D., and M. T. Madigan. *Biology of Microorganisms*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1991.

Buchanan, R. E., and N. E. Gibbons, eds. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. 8th ed. Williams & Wilkins, 1974.

Ewald, P. W. "Guarding against the Most Dangerous Emerging Pathogens: Insights from Evolutionary Biology." *EID* 2, no. 4 (Oct.–Dec.1996).

McKinney, R. E. *Microbiology for Sanitary Engineers*. New York: McGraw-Hill, 1962.

Moore, G. S. *Living with the Earth*. 2nd ed. Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers, 2002.

Ries, A. A., et al. "Cholera in Piura, Peru: A Modern Urban Epidemic." *Journal of Infectious Disease* 166, no. 6 (1992): 1429–33.

Salyers, A. A., and D. D. Whitt. *Bacterial Pathogenesis: A Molecular Approach*. Washington, D.C.: American Society for Microbiology, 1994.

Thomas, L. *The Lives of a Cell*. New York: Viking, 1974.

WHO. "WHO Reports on New, Re-emerging Disease Threatening World Health." *The Nation's Health* 24 (November 1995).

Wistreich, G. A., and M. D. Lechtman. *Microbiology*. 3rd ed. New York: Macmillan, 1980.

Suggested References القراءات المقترحة

Lynn, L. *Environmental Biology*. Northport, N.Y.: Kendall-Hunt, 1995.

Metcalf, and Eddy. *Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, and Reuse*. 3rd ed. Rev. G. Tchobanoglous and F. L. Burton. New York: McGraw-Hill, 1991.

Riddihough, G. "Picture of an Enzyme at Work." *Nature* 362 (1993): 793.

Singleton, P. *Introduction to Bacteria*. 2nd ed. New York: Wiley, 1992.

———, and D. Sainsbury. *Dictionary of Microbiology and Molecular Biology*. 2nd ed. New York: Wiley, 1994.

Spellman, F. R. *Microbiology for Water/Wastewater Operators*. Lancaster, Pa.: Technomic Publishing Co., 1997.

علم السموم البيئي
Environmental Toxicology

في ما يلي نقدم تصوراً روائياً لحادثة حقيقية – لا تختلف في جوهرها عن تلك التي تحدث بشكل فعلي في الأوساط الزراعية، في جميع أنحاء العالم – وتتعلق بسوء استخدام المبيدات الحشرية. تعكس هذه الحوادث "الشائعة" أمراً واحداً هو أنه يمكن لإساءة استخدام السموم الكيميائية أن تؤثر على حياة البشر المعرضين لها. وكدارس لعلم البيئة، عليك أن تنظر إلى هذا الحادث بما يتجاوز التأثيرات/المشاعر المباشرة. فكرّ في أثره المحتمل على "الصورة الكبرى": ألا وهو الضرر البيئي.

تسمم إحدى عاملات الزراعة المهاجرات
Migrant Farmeorkter Poisoned

أُحضَرِت إحدى عاملات الزراعة المهاجرات إلى قسم الطوارئ في مستشفى ريتشيل كريك بواسطة زملائها. كانوا كلهم يتكلمون البرتغالية؛ ولم يكن ثمة مترجم. ومع ذلك، أشار زملاؤها إلى أنها تعاني من ألم معوي حاد، وغثيان، وقيئ، وضعف، وإسهال، وسيلان لعابي استمر لعدد من الساعات.

كانت المريضة امرأة برتغالية ذات بنية قوية، و تغذية جيدة، يبدو عليها القلق والإعياء. كان كلامها متقطعاً، ورغم تعرقها الشديد بدت كما لو أنها تعاني من الجفاف. كان ضغط دمها 165/110، ونبضها 94 نبضة في الدقيقة، وكان تنفسها شاقاً وبمعدل 25 مرة في الدقيقة. أظهر الفحص السريري إفرازاً أنفياً مائياً، وانقباضاً في بؤبؤ العين، وسيلاناً لعابياً شديداً، وصفيراً تنفسياً ملحوظاً.

هذا إلى جانب حركة عضلات غير متناسقة، ولا إرادية. كانت المريضة واعية للزمن والمكان، ولكن لم يتسن للطاقم المسعف عمل تقييم كامل لحالتها العقلية بسبب الحاجز اللغوي.

أظهرت تحاليل غازات الدم الشريانية وجود حماض تنفسي طفيف، ومستوى طبيعي للأيونات الموصلة، وجلكوز بمقدار 195 ملغم في الديسلتر (mg/dl). وقد تم حقنها بالدواء الملائم، إلا أن هذا لم يُحسن من حالتها.

وخلال الساعات الأربع التي تلت إحضارها إلى المستشفى، تدهور تنفسها بحيث استدعى الأمر في النهاية تركيب أنبوبة تنفسية لها. وعندما حضر المترجم، أخبره زملاؤها أنها تعرضت، بشكل غير مقصود، للرش بمبيد حشري قبل ساعات قليلة في حقل للكرنب كانوا يعملون به جميعاً، وتعرضت لتركيز عالٍ من المبيد، شمل جهازها التنفسي وجلدها، ولكن زملاءها عجزوا عن تعريف نوع المبيد.

وبعد ساعة من تعرضها للمبيد، بدأت المريضة تشكو من ضيق في الصدر، وغثيان، وصعوبة في البلع. ثم بدأت في التقيؤ المتكرر، والإسهال العضلي العام بعد عدة ساعات. أحضرها عندئذٍ زملاؤها للمستشفى.

تستخدم العديد من المبيدات الحشرية على مستوى العالم. وتشمل قائمة المعرضين للتسمم في أماكن العمل بالمبيدات الأفراد الذين يساهمون في إنتاجها وفي رشها وعمال الحقول. كما إن حوادث التسمم الناتجة من حمل المبيدات للبيوت من خلال الملابس، وتأثيرها على صحة الأطفال بوجه الخصوص في تزايد أيضاَ. كذلك فإن الإستخدام المتزايد للمبيدات الحشرية في المنازل مسئول أيضاً عن عدد متزايد من حالات تسمم الأطفال، وعن محاولات الإنتحار عبر تناول هذه المبيدات.

تعرضت المريضة المعنية في هذا المثال لتسمم حاد بالباراثيون (Parathion) (أحد مركبات الفوسفات العضوية). وبعد أن أخذت العلاج الطبي الملائم،

تعافت المريضة بشكل كامل. تم الإبلاغ عن تسممها لشعب الصحة العامة و"جودة البيئة" كما هو مطلوب في القانون الولائي. هذا وقد أظهرت دراسة متابعة للأراضي الزراعية في حقول الكرنب أن معظم العمال قد عانوا من نوبات الغثيان، والقيء، والإسهال، ومن إفرازات متزايدة خلال العمل. وتحت ضغط إداري وقانوني كثيف، أضطر المالك أن يدخل سلسلة من إجراءات السلامة الخاصة باستخدام المبيدات.

أهداف الفصل
Chapter Objectives

بعد دراسة هذا الفصل ينبغي أن تكون قادراً على أن:

- تَصِفَ وتناقش الجرعة – الاستجابة.
- تَصِفَ كيف يعمل المؤشر الحيوي وكيف يشير إلى مستويات التلوث.
- تُعرِّف وتناقش المبادئ الكامنة خلف المؤشر الحيوي وتحدد الإستخدامات الأخرى المحتملة له.

خطة الفصل
Chapter Outline

- مقدمة : تعريف ومناقشة – علم السموم.
- تعريف ومناقشة – العلاقة بين الجرعة والاستجابة، المنحنى، وعتبة التأثير.
- مناقشة: التطبيقات العملية لعلم بيئة السموم، العمل المخبري، والعمل الميداني.
- مثال: المؤشر الحيوي – تعريف، ومناقشة، وتطبيق

- مناقشة: مفاهيم المؤشر الحيوي المطبقة على أجزاء أخرى من علم البيئة.

المصطلحات الرئيسية
Key Terms

environmental toxicology	علم السموم البيئي (المحيطي)	biotic index	المؤشر الحيوي
oxygen sag curve	منحنى الأوكسجين المنخفض	dose-response curve	منحنى الجرعة والاستجابة
threshold of effect	عتبة التأثير	dose-response relationship	العلاقة بين الجرعة و الاستجابة
toxicity	السمية	ecotoxicology	علم السموم البيئي
		toxin	السم

مقدمة
Introduction

علم السموم **(Toxicology)** هو دراسة الآثار الضارة للمواد الكيميائية على الكائنات الحية. وعادة ما يعرف علم السموم بشكل أبسط على أنه العلم الذي يتعامل مع طبيعة وتأثيرات السموم – أو (بتبسيط أكثر) علم المواد السامة. يتبع تطور علم السموم كعلم مستقل و يحاكي نمط نمو الكيمياء الصناعية

وإنتاجها لسموم غير طبيعية. يعتبر **علم السموم البيئي (Environmental Toxicology)** (والذي يمزج بين مبادئ علم البيئة وعلم السموم) – والذي يشار إليه في بعض الأحيان **بعلم السموم الخارجي (Ecotoxicology)** – وهو فرع من علم السموم الذي يعنى بتأثير المواد السامة، ليس على المجتمعات البشرية وحدها (حركية المجتمع، وتركيبته، والأنظمة البيئية)، ولكن أيضاً على البيئة بشكل عام، ويشمل ذلك الهواء، والتربة، والمياه السطحية، والمياه الجوفية. ولتصميم، ومن ثم التوصية بإجراءات تخفيفية لتأثيرات التلوث، فإن العلماء يجتهدون لفهم، ومراقبة، ومن ثم التنبؤ بعواقب مجموعة واسعة من الملوثات السامة.

السم، أو الملوث السام هو مادة كيميائية يمكن أن تسبب مرضاً شديداً أو موتاً. أما السمية فهي خاصية وظيفية للمادة تحدد قدرة المادة الكيميائية على إحداث أذى أو ضرر للكائن الحي بطرق غير ميكانيكية. وللسُميّة بعد محدد– كمي أو نوعي. تعتمد سمية مادة كيميائية ما على درجة التعرض لها.

الجرعة – الإستجابة
Dose - Response

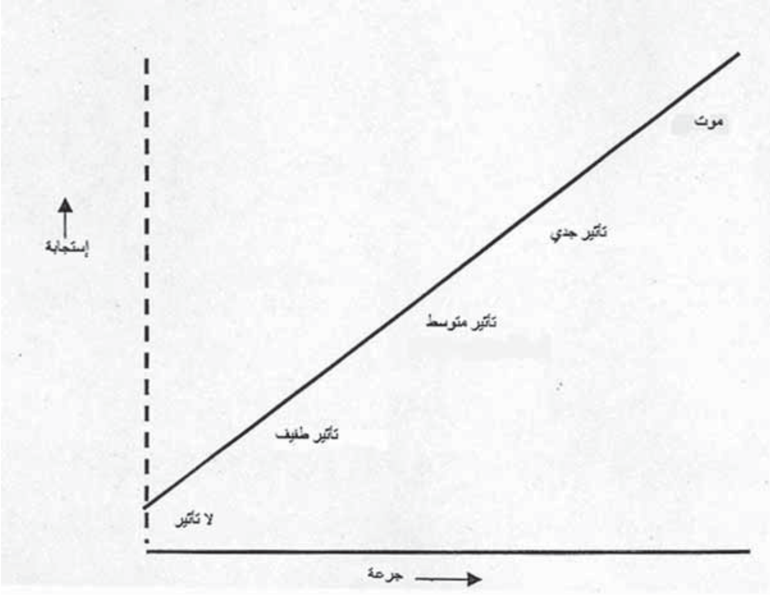
أصبحت هذه العبارة معلومة من معظم طلاب و ممارسي علم السموم: إن الجرعة هي التي مفعول السم. يعني هذا بالطبع أن الشخص يمكن أن يتعرض لأي مادة كيميائية من دون أن يبدي أو يشعر بأي آثار مرضية – إذا كانت الجرعة التي تعرض لها صغيرة أو كانت عند مستوى أقل من المستوى "السام".

فكر في الزرنيخ . فالزرنيخ هو أحد السموم. أي شخص تعرض لبرامج الجرائم التلفازية أو سنحت له الفرصة لقراءة أو مشاهدة فيم "الزرنيخ ورباط الحذاء القديم" لجوزيف كيسرلينغ، سيكون على دراية بالآثار القوية للزرنيخ. فقد كان ثلاثي أوكسيد الزرنيخ سماً زعافاً معروفاً منذ العصور الوسطى في أقل تقدير.

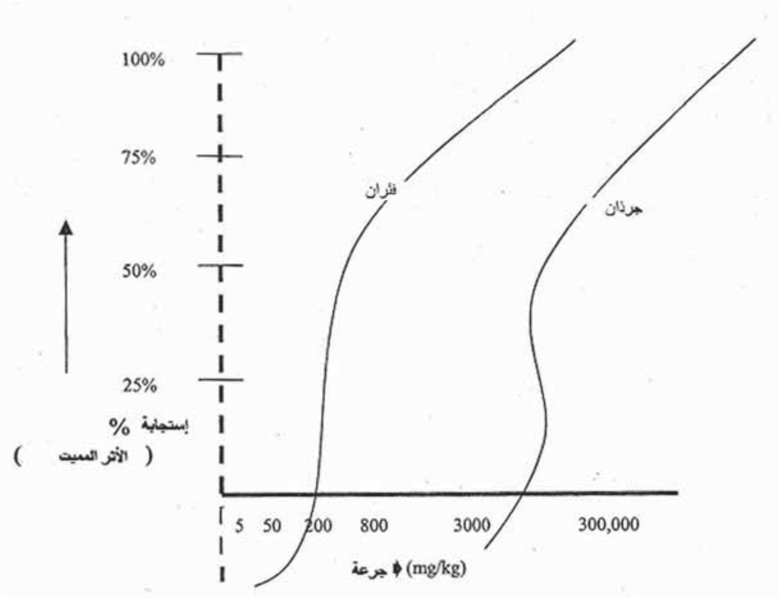
ويربط معظم الناس تلقائياً بين كلمة زرنيخ وكلمة سم: ومع ذلك لا يدرك معظم الناس أن الزرنيخ في حد ذاته لا يقتل – ولكن كمية (جرعة) الزرنيخ المتناولة هي التي تقتل. فهو، مثله مثل معظم المعادن الثقيلة الأخرى، يميل إلى أن يتراكم في الجسم. لذا، فإن تناول جرعة صغيرة منه تبدو بلا آثار ضارة. ولكن، تناول جرعات صغيرة متتالية يمكن أن يؤدي للوفاة.

يبني علماء السموم اعتباراتهم السمية كلها على **علاقة الجرعة – بالاستجابة (Dose-response relationship)**. يتم إعطاء جرعة لحيوان تجارب، وبناء على النتيجة، يتم زيادة أو تقليل الجرعة حتى يتم الحصول على مدى تنفق الحيوانات في حده الأعلى، وفي حده الأدنى تعيش. وتستخدم المعلومات المستخلصة لتحضير **منحنى الجرعة – الإستجابة (Dose-response curve)** الذي يربط بين النسبة المئوية للحيوانات النافقة والجرعة المعطاة.

ولكي نفهم علاقة الجرعة – الاستجابة وأهميتها لعلماء البيئة وللآخرين، دعنا نلقي نظرة أقرب على منحنى الجرعة – والاستجابة وكيفية إستخدامه.



الشكل 1.5 منحنى جرعة-إستجابة لمادة كيميائية ما.



الشكل 2.5 الفرق بين منحنى جرعة-إستجابة لنفس المادة الكيميائية في نوعين من الأحياء مختلفين

فلتحديد جرعة معينة من مادة كيميائية تتسبب بنوع معين من الآثار الضارة، يقوم العلماء عادةً بإعطاء جرعات مختلفة للحيوانات المختبرية. وخلال هذه العملية يكون نمط الإستجابة العادية على النحو الآتي: لا تسبب الجرعة الصغيرة أي آثار ملحوظة. وفيما تلاحظ بعض السمية عند جرعات أعلى، وعند الجرعات العالية بالقدر الكافي تموت الحيوانات.

تعرف هذه الزيادة التدريجية في الآثار السامة بعلاقة الجرعة بالاستجابة، وعادة ما توضح بشكل بياني (أنظر الشكل 1.5).

إذا افترضنا أن منحنى الجرعة – والاستجابة الموضح في الشكل 1.5 يمثل ما يحدث عندما تعطى المادة الكيميائية (س) لفأر، يصبح السؤال التالي ما الذي سيحدث إذا أعطيت نفس المادة لجرذ ؟ هل سيبدو المنحنى بالشكل ذاته؟ وإذا لم يبد

كذلك فكيف سيختلفان ؟ الإجابة هي أن شكل المنحنى غالباً ما يبدو متشابهاً، ولكن منحنى الجرعة– والإستجابة للجرذ سيبدأ عند جرعة أقل أو أعلى من منحنى الجرعة– والإستجابة للفأر.

تم تحديد مجموعة كاملة من منحنيات الجرعة – والاستجابة (أنظر الشكل 2.5)، وهي تظهر أن بعض الحيوانات أكثر حساسية للمادة (س) من بعضها الآخر – وهو أمر مهم لأن ما تظهره هذه العلاقة في الحقيقة هو أن جرعةً أقل قد تكفي لإحداث التأثير السام نفسه – أي أن " الجرعة السامة" تختلف من حيوان لآخر وأن الجرعة السامة خاصة بكل نوع.

تذكر، أن جرعة صغيرة بما فيه الكفاية من معظم المواد الكيميائية تكون غير ضارة. وأن لهذه المواد الكيميائية **عتبة تأثير(Threshold of effect)** – ومستوى " اللا أثر". فأشد مادة سمية معروفة (إذا وجدت بكميات قليلة بما فيه الكفاية) لن تحدث أي تأثير يمكن قياسه وأنها. قد تدمر القليل من الخلايا، ولكنها لن تحدث تأثيراً جوهرياً يمكن قياسه (ضرر للكبد، على سبيل المثال). وبزيادة الجرعة، تتحدد النقطة التي يظهر فيها أول تأثير يمكن قياسه. تعرف القدرة السمية لمادة كيميائية بالعلاقة بين جرعة المادة والإستجابة لها في الأنظمة الحيوية. إذ سيسبب وجود تركيز عالٍ من المادة السامة في العضو المستهدف (الكبد، على سبيل المثال) تفاعلاً شديداً، بينما يسبب التركيز المنخفض، تفاعلاً أقل شدة.

تعتبر المعلومات "النوعية" المقدمة في الشكل 2.5 تقديراً تقريبياً للسمية النسبية لمواد كيميائية مختلفة. و لكن إهتمامنا، في العلم، يكون منصباً على وضع تحديدات "كمية" للسمية يمكن تكرارها. ولفعل هذا نستخدم ونتبع بروتوكولات تجريبية محددة.

فعالم السموم، الذي يهتم بتحديد ما إذا كانت مادة كيميائية معينة ضارة للكائنات الحية، يفهم أن هذا التحديد يعتمد على خواص المادة الكيميائية، وعلى الجرعة، والطريق الذي تدخل من خلاله إلى الجسم (الطرق الأربعة التي تدخل من خلالها المواد الكيميائية إلى الجسم هي الإستنشاق، والابتلاع، والحقن، والتلامس مع الجلد أو الإمتصاص عن طريقه)، وعلى قابلية أو مقاومة الشخص المعرض للسم.

علم السموم البيئي : تطبيقات عملية
Environmental Toxicology: Practical Application

يهتم عالم السموم البيئي بتحديد تراكيز الملوثات السامة، و كيفية تأثيرها على الكائنات الحية التي تسكن بيئتنا. حازت الوكالة الأمريكية لحماية البيئة (EPA) قصب السبق في إجراء هذه التحديدات. فالمطلوب من هذه الوكالة تشخيص وتقويم مواقع النفايات الخطرة المعروفة التي تطلق فيها النفايات السامة. وبحسب التفويض المعطى لها من الكونجرس، تلزم الوكالة بتوفير الوسائل الاحترازية الخاصة بإطلاق المواد السامة في البيئة.

ولكن، ما الدور الذي يؤديه عالم البيئة و /أو عالم السموم في جهود الوكالة الوطنية (EPA) لمراقبة وتنظيف المواد السامة من مواقع هذه النفايات السامة، وكذلك بالنسبة للإنسكابات الكيميائية، والإنبعاثات؟ إنهما يؤديان دوراً مهماً – فمعظم الطواقم التي تنفذ هذه المهام لوكالة حماية البيئة هي من علماء البيئة والسموم.

و علـــى مـــستوى محلـــي (فـــي عـــالم الأشـــغال اليوميـــة)، يـــؤدي علمـــاء البيئـــة معظـــم تجـــاربهم، ودراســـاتهم، وتحلـــيلاتهم فـــي المختبـر. ومـع ذلـك، فـإنهم يـؤدون قـسماً لا بـأس بـه مـن عملهـم فـي الحقـل ؛ رغـم أن معظـم تحاليـل علـم الـسموم يتطلـب عمـلاً مكثفـاً فـي مختبـر ذي تجهيـزات عاليـة. دعنـا نلقـي نظـرة علـى مثـال لعمـل حقلـي لعلمـاء بيئـة وسـموم يتـضمن تحديـد جـودة الميـاه – من دون مساعدة من المختبر.

1.5 Case Study دراسة الحالة

المؤشر الحيوي Biotic Index

يستخدم علماء البيئة عادة أربعة مؤشرات مختلفة لتحديد جودة المياه هي – تعداد البكتريا القولونية في وحدة حجم، وتركيز الأوكسجين المذاب، والطلب الكيميائي الحيوي على الأوكسجين، و**المؤشر الحيوي(Biotic index)**. فالكائنات الحية التي توجد في/أو قرب جدول مائي، على سبيل المثال، هي مؤشرات حيوية مباشرة لحالة المياه. يعد المؤشر الحيوي أكثر مصداقية من العديد من الاختبارات الكيميائية التي يستخدمها علماء البيئة والسموم حين يحاولون تحديد مستوى الملوثات في جدول مائي. هذا وتساعد الأنواع الحية المؤشرة على تحديد متى يكون مستوى الملوثات غير آمن.

لكـن كيـف يعمـل المؤشـر الحيـوي فعليـاً ؟ و كيـف يـدل علـى مستوى التلوث ؟

يمكـن لـبعض الأنـواع المائيـة، ومـن خـلال تبيانهـا فـي الاسـتجابة لقـيم الأوكـسجين المتـاح فـي جـدول مـائي، أن تعتبـر مؤشـرات علـى شـدة التلـوث بالنفايـات العـضوية. فإسـتجابات الكائنـات المائيـة فـي الجـداول لكميـات كبيـرة مـن النفايـات العـضوية موثقـة

بـــشكل جيـــد. وهـــي تحـــدث بـــشكل متوقـــع ودوري. وعلـــى ســـبيل المثـــال، عنـــد أعلـــى الجـــدول مـــن نقطـــة امتزاجـــه بالنفايـــات الـــصناعية، يـــوفر الجـــدول دعمـــاً لأنـــواع مختلفـــة مـــن الطحالـــب، والأســـماك، والكائنـــات الأخـــرى، ولكـــن فـــي المنطقـــة التـــي يـــنخفض فيهـــا مـــستوى الأوكـــسجين (تحـــت مـــستوى 5 ppm)، لا يبقـــى ســـوى أنـــواع قليلـــة مـــن الديـــدان. وبجريـــان الجـــدول فـــي مجـراه مبتعـــداً عـــن موقـــع النفايـــات، تبـــدأ مـــستويات الأوكـــسجين فـــي التعـــافي، وتبـــدأ الأنـــواع التـــي تتحمـــل تركيـــزاً منخفـــضاً مـــن الأوكـــسجين (مثـــل الغـــار، وســـمك القـــط، وســـمك الـــشبوط) بـــالظهور. وفـــي النهايـــة، وفـــي نقطـــة أبعـــد مـــن مجـرى الجـــدول، تتكـــون منطقـــة مـــن الميـــاه النظيفـــة وتعـــود مجتمعـــات الكائنـــات الحيـــة المتنوعـــة والمرغوبـــة إلـــى الظهور .

ومن خلال هذا النمط المميز من المستويات المتناوبة للأوكسجين المذاب (واستجابة لرمي كميات كبيرة من المواد العضوية القابلة للتحلل الحيوي)، فإن الجدول، وكما ذكرنا سابقاً، يمر عبر دورة. تُدعى بمنحنى الأوكسجين المنخفض (oxygen sag curve) . ويمكن تحديد حالتها بإستخدام المؤشر الحيوي كمؤشر على مستوى الأوكسجين.

إن المؤشـــر الحيـــوي هـــو مـــسح مـــنظم للكائنـــات اللافقاريـــة. ولأن تنـــوع الكائنـــات الحيـــة فـــي الجـــدول هـــو فـــي العـــادة مؤشـــر جيـــد علـــى وجـــود التلـــوث، فـــإن المؤشـــر الحيـــوي يمكـــن أن يـــستخدم للتـــدليل علـــى جـــودة الميـــاه. يمكـــن لأي شـــخص مـــتعلم (كعلمـــاء البيئـــة والـــسموم، علـــى ســـبيل المثـــال) أن يحـــدد بـــسهولة مـــستوى حالـــة جـــودة الميـــاه فـــي أي جـــدول عبـــر الملاحظـــة البـــسيطة – ملاحظـــة الأنـــواع الحيـــة الموجـــودة أو المفقـــودة كمؤشـــر علـــى تلـــوث الجـــدول.

يوظــف المؤشــر الحيــوي، المــستخدم فـــي تحديــد الأنــواع الحيــة وعــددها الموجــود فــي الجــدول، بــشكل عــام كعامــل مــساعد لتحديــد الطلــب الكيميــائي الحيــوي علــى الأوكــسجين فــي تقيــيم تلــوث الجدول.

يستند المؤشر الحيوي على مبدئين:

1. رمــي كميــات كبيــرة مــن المخلفــات العــضوية فــي جــدول مــائي يــؤدي إلــى حــصر تنــوع الكائنــات الحيــة فــي نقطــة معينــة من الجدول.
2. وبزيــادة درجــة التلــوث فــي الجــدول، فــإن كائنــات حيــة رئيسية تميل للإختفاء بترتيب يمكن توقعه.

الجدول 1.5. نظام مجموعة المراقبة الأحيائية العاملة للنقاط (عدل بغرض التوضيح)

إسم العائلة	أمثلة للأسماء الشائعة	مجموع النقاط
هيباتوجينادا (Hepatagenidae)	ذباب مايو (May flies)	
ليوكتريدا (Leuctridae)	ذباب الحجر (stone flies)	10
أشنيدا (Aeshnidae)	ذباب التنين (Dragon flies)	8
بوليسنتروبيدا (Polycentropidae)	ذباب كاديس (Caddis flies)	7
هدرومتريدا (Hydrometridae)	نطاطات الماء (water Strider)	
جيرينيدا (Gyrinidae)	الخنفساء المدومة (Whirligig beetle)	5
كيرونوميدا (Chironomidae)	البعوض (Mosquitoes)	2
أوليجوكيرا (Oligochaera)	الديدان (Worms)	1

وعــادة مــا يؤشــر إختفــاء أنــواع معينــة مــن الأحيــاء إلــى جــودة مــاء الجدول.

هــذا وتــستخدم أنــواع مختلفــة مــن المؤشــرات الحيويــة لهــذا الغــرض. ففــي بريطانيــا، علــى ســبيل المثــال، يــستخدم مؤشــر ترنــت الحيــوي (TBI)، ومقيــاس شــاندلر (CS)، ومقيــاس مجموعــة المراقبــة الأحيائيــة العاملــة (BMWP)، ومؤشــر لنكــولن للجــودة (LQI)، علــى نطــاق واســع. ومعظمهــا يــستخدم المؤشــرات الحيويــة فــي تــدرج يتــراوح مــا بــين 0 إلــى 10 درجــات. فيعطــى الجــدول الأكثــر تلوثــاً الحــاوي علــى أقــل تنــوع للكائنــات الحيــة أقــل درجــة فــي المقيــاس وهــي 0. أمــا الجــداول النظيفــة فتعطــى 10 درجــات. وبإمكــان جــدول مــائي بدرجــة 5 أو أكثــر علــى المؤشــر الحيــوي أن يــدعم حيــاة أســماك الــصيد، فــي حــين أن جــدولاً بدرجــة 4 أو أقــل لا يدعم حياة هذه الأسماك.

وبــسبب ســهولة جمــع عيناتهــا، هيمنــت اللافقاريــات الكبيــرة علــى "المراقبــة الأحيائيــة". تمثــل اللافقاريــات الكبيــرة مجموعــة متنوعــة؛ وتظهــر مقــدرات مختلفــة علــى التحمــل تختلــف بــإختلاف الأنــواع. وتظهــر هــذه الفــروق المميــزة، وعــادة مــا تــشمل مؤشــرات حــساسة وأخــرى أقــل حــساسية. وبالإضــافة إلــى ذلــك، فــإن مقارنتهــا بالــدلائل التعريفيــة والتــي يمكــن أن تحمــل وتــستخدم بــشكل مــريح فــي التجهيــزات الميدانيــة، تجعــل مــن الــسهل كــشف هويتهــا والتعــرف إليهــا. كمــا أن المعرفــة الراهنــة عــن تحمــل وحــساسية اللافقاريــات لتلــوث الجــداول موثقــة بــشكل جيــد. ففــي الولايــات المتحــدة، علــى ســبيل المثــال، منــذ العــام 1993 تطلــب الوكالــة الأمريكيــة لحمايــة البيئــة مــن الولايــات تــضمين وصــف للمعــايير الأحيائيــة للجــودة القياسية لمياه أنهارها.

يوفر "المؤشر الأحيائي" مقياساً قيماً للتلوث، خصوصاً للأنواع الحساسة جداً

لنقص الأوكسجين. ضع في إعتبارك ذبابة الحجر(stone fly). تعيش يرقات هذه الذبابة بشكل جيد تحت الماء في مياه جيدة التهوية وغير ملوثة وذات قيعان من الحصى النظيف. وعندما يتدهور الجدول بفعل التلوث، لا تستطيع هذه الذبابة البقاء على قيد الحياة. إن لتدهور يرقات ذبابة الحجر أثر أسي على الحشرات الأخرى، ولاسيما على الأسماك التي تتغذى على هذه اليرقات. لذلك، بإختفاء ذبابة الحجر، يختفي العديد من الأسماك والحشرات.

يظهر الجدول 1.5 نسخة معدلة من مؤشر مجموعة المراقبة الأحيائية العاملة. ولأن هذا المؤشر يشير إلى ظروف جدول مثالية، فإنه يضع في إعتباره حساسيات أنواع اللافقاريات الكبيرة المختلفة لتلوث الجدول. توجد اللافقاريات الكبيرة المائية هذه بأنواع مختلفة، وهي مؤشرات واضحة على التلوث. فهذه الكائنات كبيرة بما يكفي لجعلها ترى بالعين المجردة. إن معظم اللافقاريات المائية تعيش لمدة عام على الأقل. وهي حساسة لجودة المياه على أساس قصير أو طويل الأجل. فذباب مايو، وذباب الحجر، وذباب كاديس لافقاريات كبيرة مائية وتعتبر كائنات مياه نظيفة، لذا عادة ما تكون أول الكائنات التي تختفي من الجدول إذا انخفضت جودة مياهه؛ ولأجل هذا تعطى درجات كبيرة، في حين تعطى ديدان التيوبيسيد (Tubicid) (و المتحملة للتلوث) درجات متدنية.

في الجدول 1.5، تعطى درجات من 0 إلى 10 لكل عائلة موجودة، وتحسب درجة ذلك الموقع بجمع درجات العائلات جميعها. ومن ثم تقسم درجة الموقع (الدرجة الكلية) على عدد العائلات المسجلة للوصول إلى الدرجة المتوسطة لكل صنف. تنتج الدرجات العالية من وجود أصناف حيوية متعددة مثل

ذبابة الحجر، وذبابة مايو، وذبابة كاديس في ذلك الجدول. أما الدرجات الدنيا فتحصل عليها الجداول شديدة التلوث والتي تغلب فيها ديدان التيوبيسيد والكائنات الحية المتحملة للتلوث.

تظهر دراسة الحالة 1.5 أن عالم البيئة / السموم يستفيد من حقيقة أن الجداول غير الملوثة تدعم تشكيلة منوعة من اللافقاريات المائية الكبيرة. ومن الأنواع المائية الأخرى بحيث أن وجود عدد قليل من نوع معين يفيد في تحديد جودة المياه في الحقل. وفي حين أن بعض الأنواع المائية مثل ذباب مايو، وذباب الحجر أكثر حساسية من الأنواع الأخرى لبعض الملوثات وتستسلم بشكل أسرع لتأثيرات التلوث، فإن بعض الأنواع الأخرى، مثل بلح البحر (Mussels) وسمك البطلينوس (Clams)، تراكم المواد السامة في أنسجتها في تراكيز أقل من التراكيز القاتلة. يمكن مراقبة هذه الأنواع (ويجب أن تراقب لحماية الصحة العامة) لمتابعة حركة التلوث وتراكمه في الأنظمة المائية.

إن إستخدام المؤشر الحيوي في تحديد مستوى التلوث في جسم مائي يسوق تطبيقاً واحداً ليس غير لهذا المؤشر. يشير ب.م. ليفين وآخرون (B.MLevine et al) إلى أن تحديدات مماثلة يمكن إجراؤها بخصوص جودة التربة وذلك بمراقبة (وتحليل) بعض الكائنات الحية (مثل الديدان) الموجودة في التربة. فقد أظهرت الدراسات التي أجريت لتقييم تأثير معالجة المواد الصلبة الحيوية الناتجة من مخلفات المجاري (الوحل أو الحمأة) على مجتمعات الحقل القديم أن ديدان الأرض تراكم عناصر الكادميوم، والنحاس، والزنك في أنسجتها في مستويات تفوق تلك الموجودة في التربة. ومستويات الكادميوم، هذه قد تفوق حتى تركيزه في المواد الصلبة الحيوية. لذا، تمثل الديدان الأرضية "مؤشراً"

لمراقبة تأثيرات التخلص من النفايات الصلبة الحيوية وأثرها على المجتمعات الأرضية.

بالإضافة إلى تحديد مستويات التلوث في الماء والتربة، يراقب علماء البيئة/ علماء السموم الهواء الذي نتنفسه أيضاً. فقد عمل رصد جيد لعدد قليل من الحوادث البشعة التي تضمنت التعرض الحاد لمواد كيميائية خطرة منقولة بواسطة الهواء. فالإطلاق المفاجئ وغير المقصود "لمادة ميثايل آيزو سيانيت" (Methyl isocyanate MIC) في بوبال، بالهند هي مثال سيئ السمعة على ذلك. فمثل هذه التعرضات الحادة تجد طريقها لعناوين الصحف، ولكن التعرض المزمن (طويل الأجل) لكميات أقل من التراكيز القاتلة للمواد السامة تمثل خطراً أكبر على الصحة العامة، وهي مبعث قلق كبير لعلماء السموم البيئية. يتعرض الملايين من سكان المناطق الحضرية لمستويات منخفضة من مجموعة واسعة من الملوثات. والعديد من الوفيات التي تعزى لمرض فشل القلب أو أمراض أخرى مثل إنتفاخ الرئة قد تكون في الواقع نتيجةً لتأثير التعرض طويل الأجل لكميات غير قاتلة من الملوثات .

ملخص الفصل Chapter summary

تتعرض الكائنات الحية للمواد السامة. بعض هذه المواد مثل (الرصاص، والزئبق، على سبيل المثال) كانت دائماً موجودة في البيئة بكميات ضئيلة. وعلى الرغم من ذلك، فالعمليات التصنيعية الحديثة (التطورات التكنولوجية) تزيد من تركيز مواد مثل الرصاص والزئبق إلى مستويات خطرة – ومن ثم تطلقها في البيئة. كانت العديد من المنتجات الكيميائية السامة والمنتجات الثانوية غير معروفة قبل عقود قليلة مضت. والآن هناك قلق متزايد من أن البيئة التي نعيش فيها اليوم، والهواء

الذي نتنفسه، والماء الذي نشربه، والطعام الذي نأكله – يهدد صحتنا. وهنا يأتي دور علماء البيئة/ والسموم. فإهتمامهم منصب على دراسة، واكتشاف، وتخفيف آثار كل المواد المسممة وتأثيرها المحتمل على بيئتنا – وحياتنا وعلى الحياة من حولنا.

أسئلة المناقشة و مشكلات Discussion Question and Problems

1. أي من هذه العوامل يعتبر الأقل أهمية في تقييم التعرض لمواد سامة ؟

أ. طريقة التناول

ب.عدد مرات التعرض

ج. مدة التعرض

د.عمر الفطام للحيوانات

2. مدينة ما موبوءة بالبعوض. وهناك تخوّف عام من التهاب السحائي الذي يتطلب من المدينة أخذ بعض الأفعال الإسعافية. فيقوم عامل المدينة برش خليط من المالاثيون و الكيروسين. ما هي المخاطر، إذا وجدت، بالنسبة لهذا العامل؟

3. ما هي الطرق الرئيسية الثلاث لدخول المواد الكيميائية للجسم؟

4. إشرح الآتي: ليس السم هو الذي يقتل، بل الجرعة.

5. ما هي الأنظمة البيئية الموجودة في المنطقة التي تسكن فيها ؟ ما هي المشاكل البيئية التي تنتج من الطرق المختلفة لإدارتها – أو سوء إدارتها؟

6. تخيل أن حادثاً في مصنع كيميائي تسبب في إطلاق كمية كبيرة من مادة غير معروفة سابقاً في مصدر محلي لمياه الشرب، ولكن لم تلاحظ أي زيادة في الأمراض في المجتمع لمدة ستة أعوام. هل ستطمئن أن الحادث كان بلا أضرار ؟ إشرح. ما الذي قد ترغب في معرفته أكثر ؟
7. فرِّق بين التسمم الحاد والمزمن.
8. على الرغم من أنه أقل شهرة، إلا أن التعرض المزمن للمواد السامة هو أعظم خطراً على صحة الإنسان من التعرض الحاد. إشرح.

موضوعات مقترحة للبحث و مشاريع Suggested Research Topics and projects

- إشرح المشاكل المتعلقة بإستخدام المبيدات في المناطق السكنية – تأثيرها على صحة الإنسان، وتأثيراتها البيئية .
- إجرِ بحثاً عن الحساسية الحادة للسموم البيئية.
- إجرِ بحثاً عن منتجات شائعة الاستخدام والتي قد تسبب مشاكل تسممية.
- إجرِ بحثاً عن الزرنيخ في الأعمال الأدبية.
- إجرِ بحثاً عن تراكم السموم في أنواع معينة وفي السلسة الغذائية.
- إجرِ بحثاً عن الكيفية التي تصل بها السموم البيئية وتدخل إلى البشر. مثال: في كتاب *قضية كبيرة*، تعرض

الأشـــخاص المتـــأثرين للـــسم بـــالطرق الثلاثـــة كلهـــا. كيـــف يمكن لهذا أن يحدث؟

- إجـــرِ بحثـــاً عـــن تنقيـــة الجـــداول بإســـتخدام تحليـــل المؤشـــر الحيوي.

Cited References المراجع المثبتة

Levine, M. B., A. T. Hall, G. W. Barret, and D. H. Taylor. "Heavy-Metal Concentration during Ten Years of Sludge Treatment to an Old-Field Community." *Journal of Environmental Quality* 18, no. 4 (1989): 411–18.

Suggested Readings قراءات مقترحة

Environ. *Elements of Toxicology and Chemical Risk Assessment*. Washington, D.C.: Environ Corporation, 1988.

EPA. *Superfund Public Health Evaluation Manual*. Washington, D.C.: Office of Emergency and Remedial Response, 1986.

Harr, J. *A Civil Action*. New York: Vintage. (1996).

Huff, W. R. "Biological Indices Define Water Quality Standards." *Water Environment and Technology* 5 (1993): 21–22.

Jefferies, M., and D. Mills. *Freshwater Ecology: Principles and Applications*. London: Belhaven Press, 1990.

Kamrin, M. A. *Toxicology*. Chelsea, Mich.: Lewis Publishers, 1989.

Mason, C. F. "Biological Aspects of Freshwater Pollution." In *Pollution: Causes, Effects, & Control*, ed. R. M. Harrison. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1990.

Meyer, E. *Chemistry of Hazardous Materials*. 2nd ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1989.

O'Toole, C., ed. *The Encyclopedia of Insects*. New York: Facts on File, Inc., 1986.

Spellman, F. R. *Stream Ecology and Self-Purification: An Introduction for Wastewater and Water Specialists*. Lancaster, Pa.: Technomic Publishing Company, 1996.

Wooten, A. *Insects of the World*. New York: Facts on File, Inc., 1984.

الفصل السادس

علم الجيولوجيا البيئية و
علم المياه الجوفية
Environmental Geology and Groundwater Hydrology

تمتص النباتات الطاقة من الشمس. تسري هذه الطاقة عبر دوائر تعرف بالمجموع الحيوي (biota)، والذي يمكننا أن نمثله في شكل هرم مكوّن من طبقات. تمثل التربة الطبقة السفلى من هذا الهرم و تستند عليها طبقة من النباتات، تعلوها طبقة من الحشرات، وهكذا لأعلى، مروراً بعدة طبقات من المجموعات الحيوانية وصولاً إلى مجموعة القمة والتي تتكون من اللواحم الكبيرة.

–ألدو ليوبولد

أهداف الفصل
Chapter Objectives

بعد دراسة هذا الفصل يجب أن تكون قادراً على أن:

- تصف المكونات الأساسية للتربة وكيفية تكون التربة.
- تضع قائمة بالعوامل الفيزيائية والكيميائية والأحيائية المسؤولة عن تكون التربة.
- تكتب وصفاً مختصراً عن تربة نموذجية.
- تفرق بين قوام التربة وتركيب التربة
- تعمل قائمة بالإستخدامات الرئيسية للأرض ووصف الكيفية التي تؤثر بها الإستخدامات المختلفة للأرض على الزراعة و على البيئة.
- تشرح دور الكائنات الحية في تكوين التربة و خصوبتها.

خطة الفصل

Chapter Outline

- مناقشة: التربة وعلاقتها بعلم المياه.
- تعريف: الجيولوجيا.
- تعريف ومناقشة: تكوين الصخور وأنواعها.
- مناقشة: كيفية تكون التربة؛ والتجوية؛ والكشط؛ والمجتمعات الرائدة والكائنات الحية.
- تعريف ومناقشة: خواص أنواع التربة.
- تعريف ومناقشة: مقطع التربة وآفاقها.
- مناقشة: وظيفة التربة.
- مناقشة: التربة كوسط للنباتات.
- مناقشة: التربة وإعادة التدوير.
- مناقشة: التربة كوسط للهندسة.
- مناقشة : التربة كوسط للكائنات الحية.
- مناقشة : التربة كعامل تنقية للإمدادات المائية
- تعريف ومناقشة : علم المياه الجوفية ودورة المياه.

المصطلحات الأساسية Key Terms

loam	الطفل الرملي	aquifer	مكمن (مستودع مياه جوفية)
magma	صهارة	atmosphere	الغلاف الجوي
metamorphic oxidize	التحولية، متحولة، متعددة الوجوه	evapotranspiration	النتح التبخري
oxidize	يؤكسد	geology	الجيولوجيا

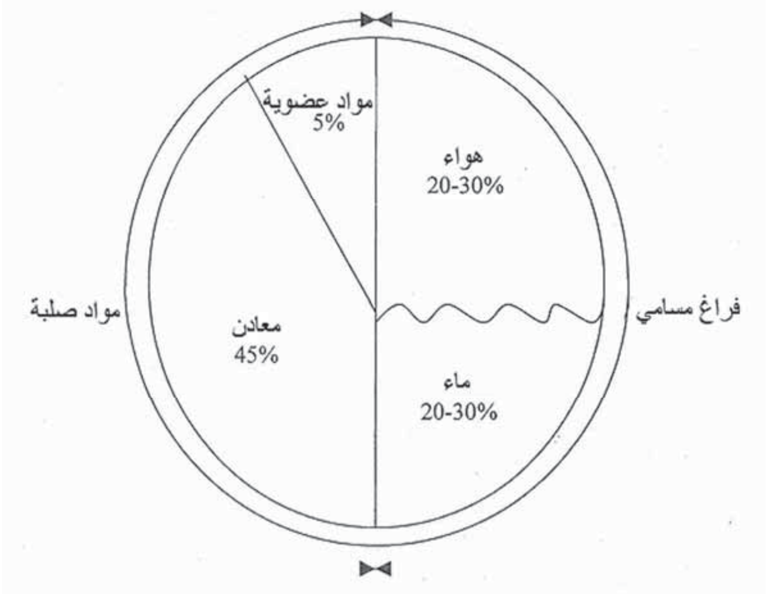
parent material	المادة الأم	groundwater	المياه الجوفية
pioneer community	مجتمع رائد	horizon	الأفق، النطاق
sedimentar y	رسوبي	humus	الدبال
hydrologic	مائي	hydrolo gic cycle	الدورة المائية
hydrospher e	الغلاف المائي	soil profile	سيماء التربة
igneous	ناري	soil texture	قوام التربة
lithosphere	الغلاف أو القشرة الأرضية	tilth	فلاحة التربة
weathering	التجوية	Water table	مستوى المياه الجوفية

مقدمة Introduction

كما هو الحال بالنسبة لعلم الأحياء، والكيمياء، وعلم المحيط، والعلوم الأخرى ذات الصلة، فإن معرفة أساسية بعلم الجيولوجيا شرط ضروري لفهم ومجابهة التحديات البيئية للقرن الحادي والعشرين . تعد الجيولوجيا علماً واسعاً، ولكننا سنركز على قسم واحد من هذا العلم : علم التربة، وذلك بسبب تفاعله الطبيعي مع الأوساط البيئية الأخرى كالهواء، والماء. يمكن لدراسة التربة أن تكون شيقةً ومحفزةً للذهن؛ كما أن التربة هي الوسط المثالي لمراقبة التطبيقات العلمية للمبادئ الأساسية لعلم الأحياء، والكيمياء، والعلوم الأخرى ذات الصلة إضافةً إلى علم المياه.

مناقشة التربة من دون مناقشة التفاعل الطبيعي بين التربة وعلم الماء تشبه

إطلاق منطاد هوائي من دون تزويده بالهواء الساخن اللازم لرفعه. وبشكل أكثر تحديداً يمكن القول إن تفاعلاً طبيعياً يحدث بين الهواء والتربة (المعادن)، والكائنات الحية، والماء. ويمكن رؤية هذا التفاعل بالنظر الى أي طَفل رملي ذي جودة معقولة، حيث تختلط هذه الأوساط الأربعة في أنماط معقدة في الطفل. يظهر الشكل 1.6 النسب المختلفة من حجم التربة التي يشغلها كل وسط .



الشكل 1.6 التراكيز المعتادة في حجم من طبقة الطفل السطحية. يدل الخط المتموج بين الماء والهواء على أن النسب بين هذين المكونين تتذبذب كلما أصبحت التربة أكثر جفافاً أو أكثر رطوبةً.

ولتفهم الرسالة المقدمة في الشكل 1.6 بشكل أفضل، ضع في يدك قبضة من التراب وقلبها بإستمرار بين يديك . إذا سألت نفسك: "هل هذه الحفنة من التراب مادة واحدة؟" ولعل الجواب: أنها تبدو كذلك – ولكن هذا الأمر غير صحيح . فهذه الكتلة هي في الحقيقة مزيج

مـــن المكونــــات. يحـــوي نـــصفها لا غيـــر، مـــواد صـــلبة (معـــادن و مـــواد عـــضوية). أمـــا النـــصف الآخـــر فيتكـــون مـــن مساحات مسامية ملأى بالهواء وبالماء.

فـــي علـــم الميـــاه (خـــصوصاً علـــم الميـــاه الجوفيـــة)، لابـــد لعـــالم البيئـــة مـــن أن يمتلـــك معرفـــة شـــاملة بتفاصـــيل الـــدورة المائيـــة، وبتفاعـــل المـــاء مـــع ســـطح التربـــة، وبالـــدور الـــذي تلعبـــه التربـــة فـــي إمـــدادات الميـــاه التحتـــسطحية، وذلـــك، لأن معظـــم التـــشريعات البيئيـــة أصـــبحت توجـــه إلـــى تنظيـــف مياهنـــا– ســـواء أكانـــت هـــذه الميـــاه موجـــودة علـــى الـــسطح أو تحـــت الأرض. كـــذلك ينبغـــي لممـــارس علـــم البيئـــة أن يملـــك فهمـــاً أساســـياً لعلـــم الجيولوجيـــا ولعلـــم الميـــاه حتـــى يكـــون قـــادراً علـــى التـــأثير فـــي عمليـــة تقلـــيص المـــشاكل المتعلقـــة بـــالتلوث وعلـــى إبتكـــار التقنيـــة اللازمـــة فـــي منـــع التلـــوث، أو فـــي معالجـــة مـــشاكل التلـــوث التحتـــسطحي . ســـتفيدك المواضـــيع اللاحقـــة فـــي تنميـــة فهمـــك للعلـــم الأساســـي، والـــذي سيـــساعدك بـــدوره علـــى فهـــم المـــشاكل البيئيـــة الأكثـــر تعقيـــداً والتـــي ســـوف ستناقش لاحقاً في هذا الكتاب .

ماهو علم الجيولوجيا ؟ What is Geology

الفهـــم التقليـــدي لعلـــم الجيولوجيـــا هـــو أنـــه علـــم الأرض، منـــشأُها، وتركيبهـــا، وتكوينهـــا، وتاريخهـــا. وعلـــى مـــستوى أبـــسط، يمكـــن أن نقـــول إن كوكـــب الأرض يتكـــون مـــن ثـــلاث منـــاطق أو أغلفـــة أساســـية: القـــشرة الأرضـــية – lithosphere- (الـــصخور والتربـــة)، والغـــلاف المـــائي – hydrosphere- (المـــاء)، والغـــلاف الجـــوي -atmosphere–

(الهواء). في هذا الفصل سنهتم بدراسة المواد الجيولوجية (الصخور والترب بشكل رئيسي – الغلاف الحجري) التي تجري خلالها المياه الجوفية .

تكوين الصخور وأنواعها Formation and Types of Rocks

تصنف الصخور إلى ثلاثة أنواع : نارية، ورسوبية، ومتحولة. الصخور النارية هي أنواع من المادة البركانية التي كانت توجد في وقت ما في هيئة ذائبة أو مصهورة ثم تجمدت على شكل صخور. فالغرانيت، على سبيل المثال، هو أحد الصخور النارية التي توجد في لب عدد من المناطق البركانية.

أما الصخور الرسوبية (sedimentary rocks) فتشترك كلها في شيئ واحد: فكلها تتكون من أجزاء صغيرة تتراوح في الحجم من حجم الجزئيات مروراً بدقائق الغبار، إلى الحصى والصخور الكبيرة، وتختلط هذه الصخور كلها وتترسب على سطح القشرة الأرضية. كما أن كل المواد المعدنية التي تكون هذه الصخور كانت في الماضي جزءاً من صخور أخرى.

المجموعة الثالثة والأخيرة من الصخور هي الصخور المتحولة (metamorphic). ويعني المصطلح متحولة ببساطة "متغيرة في الشكل". يركز هذا الإسم الإهتمام على العملية التي تطورت بها هذه الصخور. الصخور كلها في هذه المجموعة كانت في الماضي أما صخوراً نارية، أو رسوبية، ولكنها تحولت بفعل الضغط، والحرارة، والفعل الكيميائي للسوائل أو الغازات بحيث تبدلت طبيعتها الأصلية بشكل كبير. لقد نتج هذا التبدل بسبب الضغط الذي وقع على هذه الصخور المدفونة تحت السطح،

وتعرضـها للحـرارة بـسبب العمـق أو بـسبب قربهـا مـن الـصخور الذائبـة للـصهارة (magma) الموجـودة فـي بـاطن الأرض التـي تسبب الإختراقات النارية لطبقات الصخور العليا أيضاً.

تنتج التربة من المادة الصخرية الأم.

تكون التربة Formation of Soil

التربـة هـي خلـيط مـن المعـادن، والمـواد العـضوية، ومليـارات الكائنـات الحيـة، بالإضـافة إلـى الهـواء، والمـاء، وهـي أيـضاً الطبقـة الرقيقـة التـي تغطـي سـطح الأرض. تعـد التربـة مـن المـوارد المتجـددة. تتكـون التربـة فـي البدايـة مـن الـصخور، وهـي المـادة الأم عبـر مـزيج مـن الحـوادث الفيزيائيـة والأحيائيـة. تبـدأ عمليـة بنـاء التربـة بالتفتـت الفيزيـائي للطبقـات القديمـة مـن الـصخور أو الرواسـب الجيولوجيـة الأكثـر حداثـة والناتجـة مـن تـدفق الحمـم البركانيـة و/أو مـن نـشاط المجلـدات (glaciers). يحـدد نـوع المـادة الأم والمنـاخ نـوع التربـة الناتجـة. تعـرف العوامـل الفيزيائيـة أو التحـول الكيميـائي الـذي يـسبب تفتيـت التربـة بعوامـل **التجويـة (weathering)**. ويعـد الكـشط (abrasion)، وسـقوط الأشـجار، وتغيـرات الحـرارة، مـن عوامـل التجويـة الأساسـية (أنظـر الـشكل 2.6).

الشكل 2.6 صخرة أم معرضة للتجوية
ألتقطت الصورة بواسطة إف آر سبيلمان

لا تتمدد الصخور بشكل متساوي. فالحرارة يمكن أن تتسبب في تصدع الصخور الكبيرة. وعندما تتساقط قطع الصخور تنتج قطعاً أصغر يختزل حجمها بعمليات أخرى. إحدى هذه العمليات هو التجمد والذوبان المتكررين للماء. فالماء يجد طريقة إلى الشقوق والصدوع، ثم يتمدد مع تجمده ما يقود إلى تكسر الصخور إلى قطع أصغر حجماً. وفي الدورات الموسمية للتجمد والذوبان تصبح الشقوق أوسع، مما يقود في النهاية إلى مزيد من التشقق، والتصدع، وتفتت الصخور إلى أجزاء أصغر.

يعتبر الكشط (abrasion) كذلك من عوامل التجوية المهمة التي تقود في النهاية إلى اختزال كتل الصخور الكبيرة والصلبة وتحويلها إلى تربة. ينتج هذا التفتيت الفيزيائي للصخور عادة

بفعل المجلدات حيث تطحن قطع الصخور بعضها البعض الآخر. وينتج هذا الأمر قطعاً صخرية أصغر وذات أسطح أكثر نعومة. وتترسب الصخور المحمولة بواسطة المجلدات عند ذوبان الثلج. وتحدث التجوية بالاحتكاك أيضاً عندما تتسبب المياه الجارية والرياح في تصادم أجزاء الصخور واحتكاكها ببعضها البعض الآخر، مما يجعل أسطحها أكثر نعومة. وبشكل مشابه، تلتقط الرياح الدقائق مما يجعلها ترتطم بأجسام مثل التشكيلات الصخرية الأمر الذي يقود في نهاية المطاف إلى تفتت كلٍّ من التشكيلات الصخرية والدقائق المحمولة بواسطة الرياح.

تتسبب المياه الجارية والرياح في حمل دقائق التربة من مكان إلى آخر، بحيث تتعرض أسطح جديدة لعملية التجوية. ويتكون العديد من المناظر الطبيعية في العالم بفعل حركة المياه والرياح التي تزيل القطع والأجسام سهلة الحمل تاركة وراءها التشكيلات الصخرية الأكثر مقاومة. ولا تزال التكوينات الباقية تتعرض لعمليات التجوية، ويوماً ما، ستختزل هي الأخرى إلى أجزاء أصغر تنتهي على شكل تربة (أنظر الشكل 3.6).

وبالإضافة لقوى درجات الحرارة المتغيرة، والمجلدات، والمياه الجارية، والرياح، تغير بعض النشاطات الكيميائية أيضاً من حجم وتكوين المادة الأم، وتساهم في عملية تكوين التربة. تشمل هذه الأنشطة الكيميائية فعل الهواء الجوي، الذي يعمل على أكسدة قطع الصخور الصغيرة إلى مركبات مختلفة. والتحلل المائي والذي تمتزج من خلاله دقائق التربة مع جزئيات الماء – تذوب الجزئيات المؤكسدة والمتحللة بشكل أسهل في

المـــاء ويمكـــن أن تـــزال عـــن طريـــق الأمطـــار أو الميـــاه الجاريـــة .
كما يساهم المطر الحمضي أيضاً في تذويب الصخور.

الشكل 3.6 التنعيم (اختزال الحجم) الناتج من جريان المياه على التشكيلات الصخرية

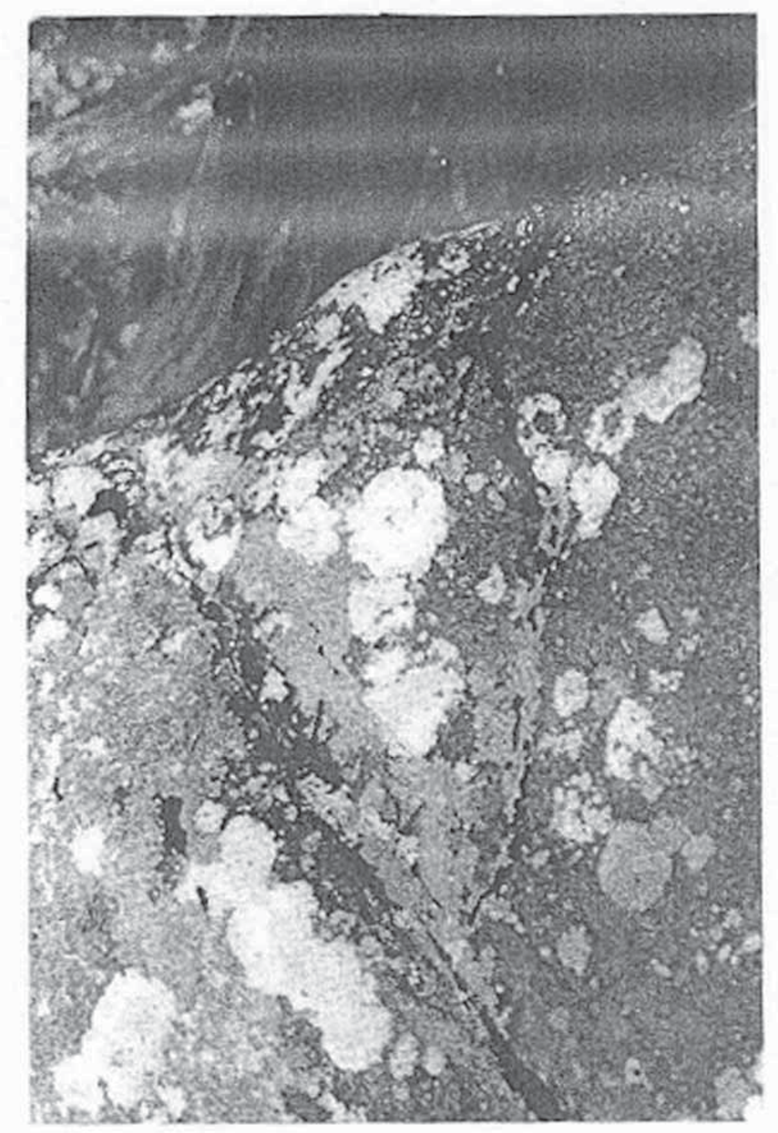
تستمر عملية تفتيت الصخور هذه في حين تجد أول الكائنات الحية موطئ قدم لها في المادة الأم المفتتة والمعدلة.عادة ما تكوِن الأشنات والحزاز (Lichens) مجتمعاً رائداً(pioneering community)– وهو أول تكامل لمجتمع النباتات (وهنالك أيضاً الحيوانات والمفككات) مع الصخور العارية. تحتجز مجتمعات الأشنات والحزازات الرائدة الدقائق الصغيرة وتغير من الصخور التي تستند عليها بعملية كيميائية (أنظر الشكل 4.6).كما تساهم النباتات والحيوانات،عندما تستقر في هذا المجتمع، بكميات متزايدة من المادة العضوية، والتي يتم مزجها مع قطع الصخور الصغيرة لتكوين التربة. ويختلط الدبال (humus)، وهو مادة عضوية ميتة، مع الطبقات العليا من دقائق التربة- ليصنع مكوّنا أساسياً لها. فهو يزود النباتات ببعض إحتياجاتها الغذائية ويجعل التربة أكثر حمضية. كما أن المكونات غير العضوية للتربة تذوب بشكل أفضل

في الظروف الحمضية. فإن بعض المحاصيل (كالشعير والقمح، على سبيل المثال) تنمو بشكل أفضل في ترب ذات أُسٍّ هيدروجيني يتراوح بين 5 إلى 7 درجات. وحين يضاف الدبال إلى تربة ذات أُسٍّ هيدروجيني أعلى من 7، تصبح تلك التربة أكثر إنتاجية، ذلك لأن الدبال يزيد من حمضيتها. وإلى جانب تأثيره على وجود المغذيات في التربة، يعدل الدبال من قوام التربة. فالتربة ذات القوام الرخو، وسهل التفكك، تسمح للماء بالتغلغل، كما تسمح بإستيعاب الهواء في ثناياها. في حين أن التربة شديدة التماسك تسمح بالجريان السطحي وحده وتحول دون التهوية الكافية.

الحيوانات الحفّارة (Burrowing)، والفطريات، وبكتريا التربة، وجذور النباتات مهمة أيضاً في العملية الأحيائية لتكون التربة. وتعد دودة الأرض من أهم الحيوانات الحفارة. فهذه الحيوانات تشق طريقها، عبر التربة، خالطةً المواد العضوية وغير العضوية في طريقها. وينتج عن هذا الخلط زيادة في كمية المغذيات المتاحة لإستخدام النباتات. كما تزيد هذه الديدان من خصوبة التربة وذلك بجلب المغذيات من الطبقات السفلى للتربة إلى أعلى تتركز حيث جذور النباتات. كما وتحسن من تهوية التربة وتصريفها. وحين تجمع هذه الديدان المادة العضوية الميتة من السطح و تنقلها إلى الجحور، فإنها تضيف للمواد العضوية الموجودة في التربة. وليست الديدان الأرضية هي الكائن الوحيد الذي يعمل على تحسين جودة التربة. فالبكتريا والفطريات هي أيضاً من المفككات. وهما يقومان، مع كائنات أخرى، بإختزال المادة العضوية إلى جزئيات أصغر، الشيئ الذي يحسن من جودة التربة.

مع مرور الوقت (لفترة وجيزة مثل أسابيع قليلة وحتى مئات

السنين، وإعتماداً على الظروف المناخية) كوّنت العمليات الفيزيائية والأحيائية الترب التي نراها اليوم. فعملية تكوين التربة عملية بطيئة ولكنها مستمرة.



الشكل 4.6 صخرة بها مستعمرات من الأشنات

دراسة حالة Case Study 1.6

صنع التراب Doing Dirt

يعد زمن تطور التربة أمراً متغيراً وطويل الأجل؛ فبعض الترب يتطور بشكل سريع، وبعضها الآخر يتطور بشكل بطيء- قد يستغرق التطور فترة 1000 سنة في الترب سريعة التطور، وأكثر من مليون سنة في الترب بطيئة التطور. يمثل طور التوازن للتعاقب الأولي أعلى تطور ممكن للتربة الطبيعية. وتشمل العوامل الطبيعية التي تؤثر على تطور التربة المناخ، والمنطقة، والتشكيل الصخري الأولى، والتصريف. وتتطور التربة عادة عن طريق عمليات متعلقة بالتدبل والتبادل.

عندما تكون التربة في حالة توازن في طور الذروة البيئي، وما لم يحدث إضطراب، ما فإن هذا التوازن يميل للبقاء. فالحياة النباتية تنتج التدبل (humus) الكافي لحماية التربة من التعرية و لربط جزيئاتها ببعضها البعض. وتتسبب الإضطرابات الصغيرة في طور الذروة بأحداث إنتكاسة للتربة. ولكن ما أن يتوقف الإضطراب حتى يحدث التعاقب الثانوي بشكل سريع، وبشكل طبيعي، في حين تدمر الإضطرابات الكبيرة الإتزان. وسواء أكانت هذه الإضطرابات طبيعية أم من صنع البشر، فإن التربة التي تتعرض لإضطراب كبير تحدث فيها عملية التعرية والتي سرعان ما تقضي على تماسك التربة المكشوفة، وترتد بآفاق التربة العلوية إلى مراحل تعاقبية سابقة.

على الرغم من أن معظم تدهور التربة يرجع إلى التعرية التي تنشأ من الأنشطة البشرية، إلا أن بعض الممارسات الزراعية تتسبب، هي الأخرى، في تدمير التربة وتدهورها. فيتسبب

إســتخدام المخــصبات المعدنيـــة، بـــدلاً عـــن المخـــصبات العـــضوية، فـــي هـــدم بنيـــة التربـــة، الأمـــر الـــذي يقلـــل مـــن المـــادة العـــضوية الموجـــودة فـــي التربـــة ومـــن النـــشاط الحيـــوي فيهـــا. وتـــضع عواقـــب هـــذه الممارســـات والنقوصـــات ضـــغطاً رهيبـــاً علـــى أنظمـــة التربـــة، وهو الضغط الذي يسبب في النهاية مشاكل كبيرة للبشر.

تـــشمل المـــشاكل النابعـــة مـــن التـــدخل الزائـــد فـــي دورات التربـــة الطبيعية:

- أضراراً متزايدة من الكوارث الطبيعية.
- تـــدهور جـــودة الميـــاه بـــسبب العكـــورة؛ وزيـــادة مـــستويات النتـــروجين والفـــسفور؛ وزيـــادة مـــستويات التلـــوث الناتجـــة مـــن التـــصنيع والتمـــدن، والزراعـــة؛ والتـــسريع مـــن عمليـــات التخثث.
- فقـــدان التنـــوع الأحيـــائي عبـــر إختـــزال الحيـــاة النباتيـــة وفقدان الموائل.
- تنـــاقص المحـــصول بـــسبب تـــدهور جـــودة التربـــة. كمـــا تتطلـــب زيـــادة تعـــداد البـــشر زيـــادة إنتـــاج المحاصـــيل ذات المنتـــوج العـــالي؛ فـــي بعـــض المنـــاطق يعنـــي فـــشل المحـــصول الـــدمار والجـــوعً مـــا لـــم يحـــدث تـــدخل. يـــصل تعـــداد البـــشر اليـــوم إلـــى مـــا يزيـــد عـــن 6.0 مليـــار نـــسمة يـــستخدمون حـــوالى 10% مـــن مـــساحة الأرض لإنتـــاج الغـــذاء (المحاصـــيل والماشـــية). ويمكـــن لتـــدهور طفيـــف أن يقلـــل مـــن إنتـــاج المحـــصول بنـــسبة 10%؛ أمـــا التـــدهور المتوســـط فيقللهـــا بنـــسبة تتـــراوح مـــن 10% إلـــى

50%؛ في حين يفقدها التدهور الشديد ما يزيد عن 50% من قدرتها الانتاجية. وتعد الترب في البلاد النامية الأكثر تأثراً.

تحسين التربة وإعادة إصلاحها Soil Enhancement and Rebuilding

في حين يمكن لتحسين "إدارة التربة" ابطاء سيرورة التعرية، فإن تعزيز الممارسات التي تُحسن وتعيد بناء التربة تساعد في ديمومتها. وإلا فإن تدهور التربة سيستمر بشكل كبير. يعمل تحسين مكونات التربة، وإضافة المواد العضوية لها، وتقليل الجريان السطحي في صالح تحسين التربة. ولكن التقنيات البشرية لوحدها لا يمكنها أن تستعيد التربة (والحياة المرتبطة بها) بشكل كامل، فقد تطلب هذا الأمر من الطبيعة ما يفوق 1000 عام.

خصائص التربة Soil Characterstics

تشمل خصائص التربة: قوامها، وبنيتها، وجوها، ورطوبتها، ومحتواها الحيوي وتركيبها الكيميائي. تحدد المعادن الموجودة في التربة قوامها (texture). كما تحدد كمية الأوكسجين الموجودة فيها مقدرتها على الإحتفاظ به إضافة إلى مقدرتها على الإحتفاظ بالماء بنسب التراب والطمي والطين الموجودة فيها. وتسمح الرمال والحصى، وهي الجسيمات ذات الحجم الأكبر، للماء وللهواء بأن يخترق التربة بسبب أشكالها التي تسمح بوجود فراغات ضئيلة بين الجسيمات المنفردة. ولا تنساب المياه والهواء وحدها عبر هذه الفراغات، بل وتصرف المياه عبرها أيضاً؛ يتسبب تصريف المياه هذا في حمل مغذيات قيمة إلى طبقات التربة التحتية التي لا تتمكن جذور النباتات، عادةً، من الوصول إليها.

تتجمع جسيمات الطين وتصطف في شكل طبقات غير منفذة للماء، لذلك لا تصرف التربة الطينية الماء بصورة جيدة، وتكون فقيرة التهوية، وتحافظ على المغذيات.

نـادراً مـا تتكـون التربـة مـن نـوع واحـد مـن الجـسيمات. فالتربـة خلـيط مـن جـسيمات ذات أحجـام وأشـكال شـتى؛ الـشيئ الـذي يقـود إلـى تـصنيف التـرب إلـى أنـواع مختلفـة. فالتربـة التـي تتكـون مـن خلـيط متـساوٍ، تقريبـاً، مـن الطـين والطمـي والـدبال تُـسمى "الطَفَـل". وتعتبـر تربـة الطفـل تربـةً نموذجيـة لأنهـا تجمـع بـين التهويـة الجيـدة وبـين خـواص تـصريف الجـسيمات الكبيـرة مـع إحتفـاظ جـسيمات الطين المكونة لها بالمغذيات.

على الرغم من أن قوام التربة يساعد في تحديد بنيتها، إلا أنه ينبغي أن نتذكر أن بنية التربة وقوامها أمران مختلفان. يقصد بقوام التربة أو حرثها (tilth) الطرق المتعددة التي تتجمع بها جسيمات التربة، أو الكيفية التي تنتظم بها هذه الجسيمات. ويساعد قوام التربة في تحديد مساميتها، وهو مقياس للمسامات الموجودة في حجم من التربة والذي هو مقياس أيضاً لمتوسط المسافات بين هذه المسامات.

تتـأثر بنيـة التربـة بـشدة بمقـدار الطـين وبالمـادة العـضوية التـي تحتويهـا. ولا تتجمـع جـسيمات الرمـل مـع بعـضها الـبعض. لـذلك لـيس للرمـل بنيـة، فيمـا تميـل جـسيمات التربـة الطينيـة للإلتـصاق مـع بعـضها الـبعض فـي هيئـة تجمعـات ضـخمة. بمقـدور جـسيمات الطـين والجـسيمات العـضوية، بـسبب خصائـصها الكيميائيـة والفيزيائيـة، أن تلتـصق مـع الجـسيمات الأخـرى مكونـةً تجمعـات أكثـر جـسامة. وتـستطيع جـسيمات الطـين، بـسبب صـغر حجمهـا وكثرتهـا، أن تنـشئ مـساحة سـطحية هـي الأكبـر لحجـم

معطـى مـن التربـة، مـا يـوفر مـساحة كافيـة تـستطيع جزئيـات المـاء والمغـذيات أن تلتـصق عليـه. وعلـى العكـس مـن ذلـك، فـإن للتـرب التـي لا يوجـد بهـا طـين أو مـادة عـضوية بنيـة غيـر مـستقرة وغالبـاً ما تكون الغبار أو الرمال المفككة التي يسهل ذروها.

تتكون التربة الجيدة من تجمعات صغيرة تتفكك بسهولة عند سحقها باليد. هذه المقدرة على التفكك تعرف بالتفتتية (friability) . فللتربة الرملية تفتتية بينما ليس للتربة الطينية تفتتية. للتربة التي تتفتت مساحات كافية تسمح للهواء والماء بالإمتزاج معها. ويوفر الهواء الموجود في هذه الفراغات الأوكسجين الضروري لخلايا جذور النباتات، بينما يحتل الماء الذي تحتاجه الجذور الفراغ المتبقي في التربة.

سيماء التربة Soil Profile

إن سـيماء التربـة (Profile) هـو سلـسلة مـن الطبقـات النطاقيـة ذات تراكيـب كيميائيـة متباينـة، وحجـم دقـائق، وكميـات مـن المـادة العـضوية تختلـف وتتبـاين بـشكل كبيـر مـن منطقـة لأخـرى. يطلـق علـى كـل طبقـة مميـزة كلمـة نطـاق -horizon– (أنظـر الـشكل 5.6). ولكـل نطـاق مـن أنطقـة التربـة لـون، وقـوام وتركيـب وحموضـة وتكـوين مميـز. يمكـن لحفريـات الطـرق والحفريـات الأخـرى أن تعـري سـيماء التربـة. وقـد تتبـاين النطاقـات فـي تربـة معينـة مـن حيـث الـسماكة وقـد يكـون لهـا حـدود غيـر منتظمـة، ولكنها عادة ما تكون موازية لسطح الأرض.

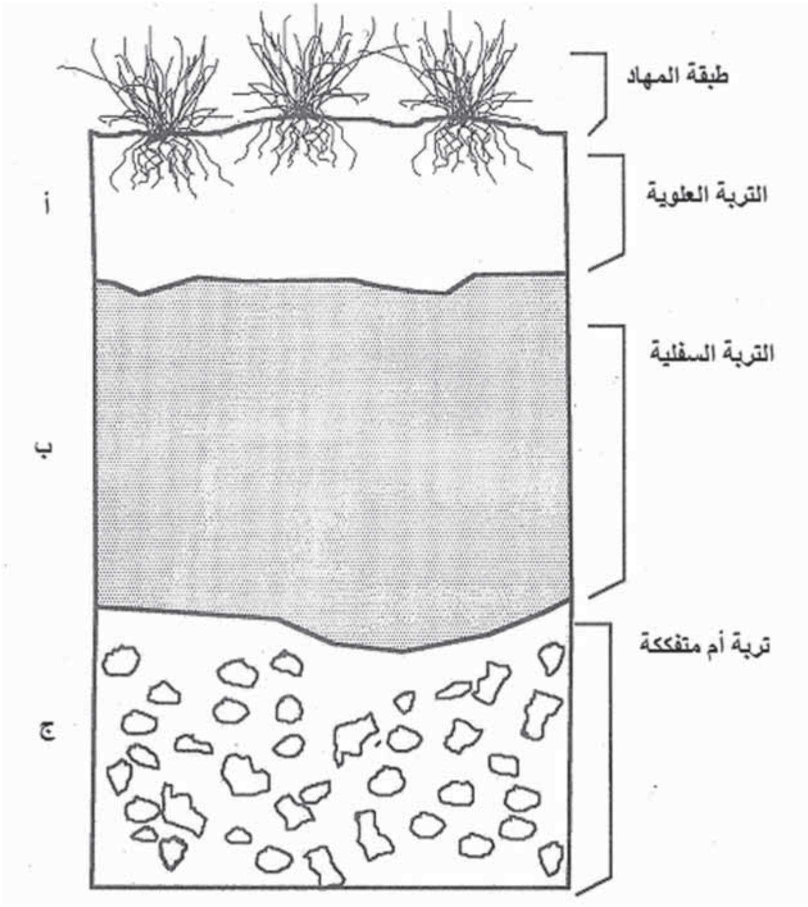
تحتـوي الطبقـة العليـا مـن التربـة علـى مغـذيات ومـواد عـضوية (أوراق وجـذور النباتـات المتحللـة) أكثـر مـن تلـك الموجـودة فـي الطبقـات الأعمـق. وتعـرف هـذه الطبقـة بالنطـاق (أ) أو التربـة

العلوية (topsoil). قد تتباين سماكة النطاق (أ) من سنتمترات قليلة إلى ما يزيد عن متر في بعض المناطق. وتوجد الغالبية العظمى من الكائنات الحية قرب قمة النطاق. ويحتوي الجزء الأسفل من هذا النطاق على كمية أقل من المغذيات وذلك لأنها تتسرب بفعل سيرورة الماء إلى النطاق المحاذي (ب).

تعرف الطبقة الواقعة أسفل النطاق (أ) بالنطاق (ب) (وتعرف أيضاً بالتربة التحتية -subsoil-)، وتحتوي على تركيز أقل من المادة العضوية مقارنة بالطبقة الأقرب للسطح. كما يحوي النطاق (ب) مادة عضوية أقل وكائنات حية أقل، ولكنه يراكم المغذيات التي تَرشح من المستويات العليا.

تعرف الطبقة الموجودة أسفل النطاق (ب) بالنطاق (ج) وتتكون من مادة أُم غير مصمتة تعرضت للتجوية. ويقع النطاق (ج) خارج مناطق النشاطات الأحيائية الرئيسية، ويستند إلى طبقة غير منفذة من الصخور، ولا يتأثر عادةً بالعمليات التي تؤدي إلى تكوين النطاقات الأعلى منه.

لاحظ أن قطاعات التربة والعوامل التي تساهم في تطورها شديدة التنوع. (الشكل 5.6).



الشكل 5.6 مقطع التربة.

وظائف التربة Fuctions of Soils

إن وظيفة التربة الرئيسية هي دعم نمو النباتات من خلال توفير وسط لنمو الجذور النباتات وتزويدها بالعناصر المغذية الضرورية. وتحدد الخواص المختلفة للتربة نوع الحياة النباتية الموجودة بها، كما تحدد كذلك، بدرجة أقل، نوع الحيوانات التي تعيش عليها. للتربة وظيفة ثانوية هي العمل كنظام إعادة تدوير

للطبيعة (ولنا). ففي داخلها تستوعب التربة أجسام الموتى من نباتات وحيوانات وبشر ومخلفاتهم وبذلك تحتوي مكوناتها على عناصر يعاد استخدامها. تعمل التربة أيضاً كوسط إعماري. فالتربة لا تقدم فقط الأساس لكل نوع ممكن من مشاريع الإنشاءات، بل توفر كذلك مواد البناء المهمة (الملاط والطوب). وكما هو واضح، فإن أهم وظائف التربة هو توفير المسكن (habitat) الذي تأوي إليه الكائنات الحية. وأخيراً، تؤثر التربة في فقدان المياه، وعلى إستخدامها، وتنقيتها، وتلوثها.

التربة كوسط لنمو النباتات Soil Provides a Medium for plant Growth

يعد ما توفره التربة من دعم فيزيائي للنظام الجذري النباتي وتثبيتها له بحيث تبقى النباتات منتصبة، فلا تسقط على الأرض، أمراً واضحاً. ولكن الأمر الأقل وضوحاً هو ما تقدمه التربة للنباتات إلى جانب ذلك. فكلنا يعرف أن التربة هي الوسط الرئيسى لنمو النباتات – ولكن ما هي دقائق هذه العملية؟ وما الذي يجري تحت السطح؟

تعد جذور النباتات الساكن الأساسي للتربة التحت سطحية. وتعتمد هذه الجذور على عملية التنفس للحصول على الطاقة. ولأن تنفس الجذور، مثله مثل تنفسنا، ينتج ثاني أوكسيد الكربون (CO_2) ويستخدم الأوكسجين (O_2)، فمن وظائف التربة المهمة العمل "كناقل للغازات" – بحيث تسمح لثاني أوكسيد الكربون بالتسرب وللأوكسجين النقي بدخول منطقة الجذور. ويتم تبادل الغازات هذا عبر شبكة من الفراغات المسامية.

مـــن الوظـــائف المهمـــة الأخـــرى للتربـــة إمتـــصاص ميـــاه الأمطـــار والإحتفـــاظ بهـــا لكـــي يتـــاح لجـــذور النباتـــات اســـتخدامها. وعنـــد تعرضـــها لـــضوء الـــشمس تتطلـــب النباتـــات دفقـــاً مـــستمراً للمـــاء لكـــي تـــستخدمه فـــي نقـــل المغـــذيات، وفـــي التبريـــد، ولكـــي تحـــافظ علـــى ضـــغطها الانتفـــاخي (الانتفـــاخ النـــاتج مـــن المـــاء)، وللتمثيـــل الـــضوئي. وســـواء مـــن الأمطـــار أو مـــن غيرهـــا، تـــستخدم النباتـــات المـــاء بإســـتمرار. لـــذا تعتبـــر قـــدرة التربـــة علـــى الإحتفـــاظ بالمـــاء ضـــرورية لبقـــاء النباتـــات. وكلمـــا كانـــت التربـــة أعمـــق كانـــت مقـــدرتها علـــى تخـــزين المـــاء الـــذي يـــسمح للنباتـــات بالـــصمود والبقـــاء لفتـــرة طويلـــة مـــن دون أمطـــار، أكبـــر. كـــذلك، تخفـــف التربـــة مـــن تذبـــذبات درجـــات الحـــرارة. فـــالخواص العازلـــة للتربـــة تحمـــي الأجـــزاء الأعمـــق مـــن النظـــام الجـــذري مـــن درجـــات الحـــر والبـــرد المتطرفـــة التـــي تحدث على سطح التربة.

وبالإضـــافة إلـــى تخفيـــف أثـــر تغيـــرات الرطوبـــة والحـــرارة علـــى بيئـــة الجـــذور، تـــزود التربـــة النباتـــات أيـــضاً بالمغـــذيات غيـــر العـــضوية علـــى شـــكل أيونـــات ذائبـــة تـــشمل البوتاســـيوم، والحديـــد، والنحـــاس، والنتـــروجين، والفـــسفور، والكبريـــت، والكثيـــر غيرهـــا. تأخـــذ النباتـــات هـــذه العناصـــر مـــن محلـــول التربـــة (الطبقـــة الرقيقـــة المحيطـــة بـــدقائق التربـــة) وتـــستوعب معظمهـــا فـــي المركبـــات العـــضوية المختلفـــة التـــي تكـــون أنـــسجة النبـــات. تـــدعم التربـــة نمـــو النبـــات مـــن خـــلال تـــوفير إمـــداد مـــستمر مـــن المغـــذيات المعدنيـــة الذائبـــة بكميـــات وحـــصص نـــسبية ملائمـــة لنمـــو النبـــات. تتكـــون الإنزيمـــات والمركبـــات العـــضوية الإســـتقلابية والمركبـــات الهيكليـــة التـــي تكـــون الـــوزن الجـــاف بـــشكل أساســـي مـــن الكربـــون، والأوكـــسجين، والهيـــدروجين

التي تحصل عليها النباتات من عملية التمثيل الضوئي من الهواء والماء، وليس من التربة.

التربة وإعادة تدوير المواد الخام Soil Recycles Raw Materials

ما أهمية عملية تدوير المواد الخام الذي تقوم به التربة بشكل مستمر ؟ هذه العملية من الأهمية بمكان، حيث أنه لولا إعادة الإستخدام المستمر للمغذيات التي يقدمها نظام إعادة التدوير الطبيعي لكانت كل المغذيات قد أستهلكت من قبل النباتات والحيوانات منذ حقب مضت أو لم يكن بمقدور الأرض حينذاك أن تؤسس لحياة على أي نطاق. وبدلاً من ذلك، كانت طبقات النباتات ستكون مغطاة بطبقة من النباتات الميتة، والحيوانات، والنفايات. وتؤدي التربة دوراً أساسياً في الدورات الجيوكيميائية . فالتربة تستوعب كميات كبيرة من النفايات العضوية وتحولها إلى دبال، مما يحول المغذيات الموجودة في هذه النفايات إلى هيئات تستخدم من قبل النباتات والحيوانات، مرجعةً بذلك الكربون إلى الغلاف الجوي بشكل ثاني أوكسيد الكربون، حيث يعاد إستخدامه من جديد عبر عملية التمثيل الضوئي للنباتات.

يمكن للتراكم الكبير من الكربون في التربة على شكل مادة عضوية أن يؤثر بشدة على تأثير غاز الدفيئة (كما سنناقش ذلك بتفصيل لاحقاً).

التربة كوسط معماري Soil is and Engineering Medium

تمثل التربة، بصورة عامة، قاعدة صلبة وراسخة لشق الطرق

وتشييد كل أنواع المباني. ومع ذلك، فإن بعض أنواع الترب ليست بتلك الدرجة من الصلابة والاستقرار، لذا تعتبر غير مناسبة للبناء عليها. والشخص الوحيد الذي يملك القرار ليحدد بدقة ما إذا كانت تربةً ما مناسبة لنوع معين من المباني أم لا هو مهندس التربة.

توفر التربة وسطاً للكائنات الحية Soil Provides a Medium for Organisms

لأولئك الذين يعتقدون أن التربة ليست سوى كومة من المخلفات العضوية والصخور المفتتة أن يفكروا للحظة وهم يلتقطون قبضة من التراب. حينما تفعل ذلك فإنك تكون قابضاً في يدك على نظام بيئي كامل. قبضة يد من بعض أنواع الترب قد تكون مسكناً لمائة مليون أو يزيد من الكائنات الحية التي قد تنتمي لعدة آلاف من الأنواع. فملء يد واحدة من التراب قد يحتوي على طيف كامل من الكائنات، ويشمل ذلك المفترسات، والفرائس، والمنتجات، والمستهلكات، والمفككات، والطفيليات. وعندما يشكك شخص ما في وضع التربة في نفس أهمية الوسطين البيئيين الأخرين، الماء والهواء، فما على هذا الشخص إلاّ أن يدرس العالم المجهري الذي تحويه هذه الحفنة من التراب.

تنظم التربة إمدادنا المائي Soil Regulates Our Water Supplies

ما عدا الكمية القليلة من المطر التي تسقط مباشرة على أجسام المياه العذبة، فكل نقطة، تقريباً، من المياه في بحيراتنا،

وأنهارنا، وجداولنا، ومصبّات أنهارنا، ومستودعات مياهنا الجوفية، قد سافرت عبر التربة أو جرت على سطحها. فكر في تلة شديدة الانحدار، مرتبطة مع وادٍ يضم جدولاً بطئ الجريان. قد يتغلغل بعض المطر الذي يهطل على التلة في الأرض، حيث يخزن في التربة ويستخدم من قبل الأشجار، والشجيرات، والورود، والأعشاب التي تغطيها، في حين يرشح بعض مائه ببطء عبر طبقات التربة إلى المياه الجوفية، حيث يدخل في النهاية إلى الجدول في فترة شهور أو أعوام . وخلال إنسياب الماء عبر التربة، تزيل عمليات التربة منه العديد من الشوائب كما تقتل الكائنات المسببة للمرض فيه.

ليست التربة بالمخزن الطبيعي للمياه وحسب، بل إنها أيضاً مرشّح – بل ولعلها أفضل المرشحات الموجودة. فللطبيعة مقدرة على إتقان العمليات التي نجتهد لمحاكاتها ولا نستطيع تكرارها – على الأقل لا نستطيع تكرارها بنفس الدرجة.

يهتم علماء البيئة بنوعية وكمية المياه في بحيراتنا، وأنهارنا، وجداولنا، ومستودعات مياهنا الجوفية. والرسالة الأهم و(الواجبة) لعلم البيئة هي منع، وتخفيف، وتقليل التلوث الذي يهدد نوعية مياه شربنا، وصيدنا، وسباحتنا. وللوفاء بهذا الواجب، لابد لممارس علم البيئة من أن يمتلك معرفة رصينة بعلم التربة وعلم المياه الجوفية.

علم المياه الجوفية Groundwater Hydrology

يهتم علم المياه (Hydrology) بوجود الماء ودورانه بكافة

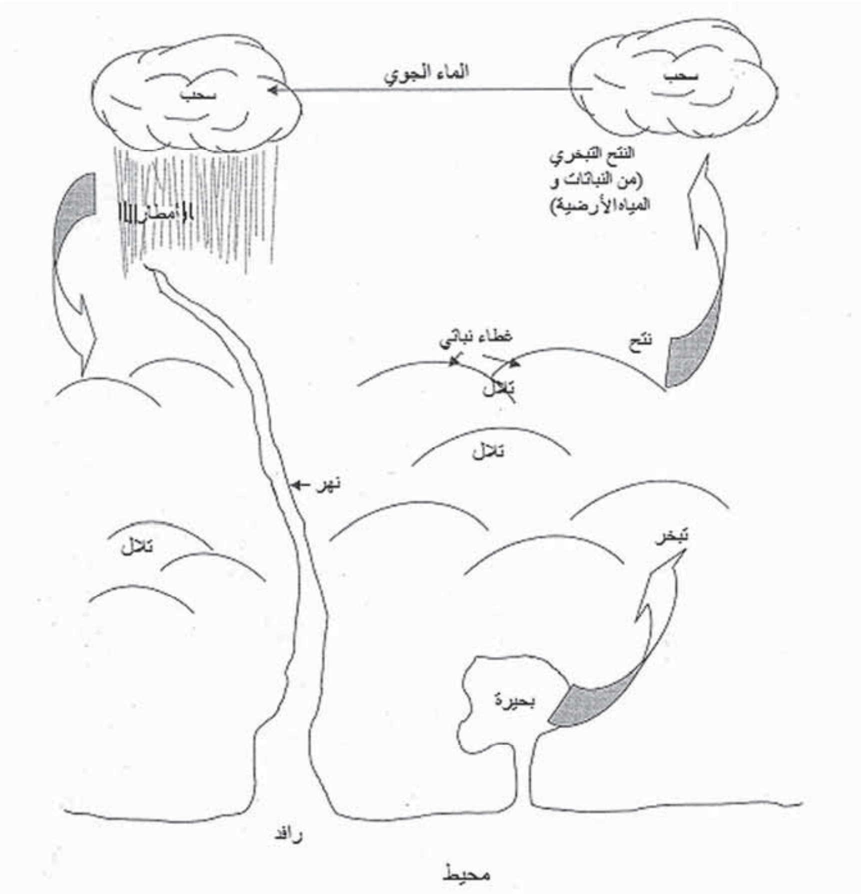
أطــواره وصــيغه. يبــدأ علــم الميــاه بالــدورة المائيــة، وهــي الوســيلة التــي يــدور عبرهــا المــاء فــي المحــيط الحيــوي (أنظــر الــشكل 6.6). فــالنتح التبخــري – وهــو مــزيج مــن بخــر، ونــتح المــاء الــسائل فــي أنــسجة النباتــات، وتبخــر مــاء التربــة إلــى الهــواء – مــن كتلــة اليابــسة زائــداً مــن تبخــر المحيطــات الــذي يقابــل بالتبريــد فــي الغــلاف الجــوي. وبهطــول الأمطــار علــى اليابــسة والمحيطــات (أنظــر الــشكل 6.6). تتطلــب الــدورة المائيــة أن يكــون التبخــر والأمطــار متــساويين علــى مــستوى العــالم. ومــع ذلــك، فكميــة تبخــر المحيطــات أكبــر مــن كميــة الأمطــار التــي ترجــع إليهــا. فالأمطــار تهطــل علــى اليابــسة أيــضاً. وينتهــي المطــاف عنــد البحيــرات، والأنهــار، والجــداول والتــي تعــود بهــا فــي نهايــة المطــاف إلــى البحار، مكملةً بذلك الدورة المائية.

إن معظــم الميــاه الموجــودة علــى الأرض (حــوالي 97%) ميــاه مالحــة، وجــزء بــسيط منهــا فقــط (أقــل مــن 3%) يوجــد علــى شــكل ميــاه عذبــة. وإن ثلاثــة أربــاع الميــاه العذبــة توجــد فــي شــكل غطــاء جليــدي وأنهــار متجمــدة، فيمــا تمثــل الميــاه الجوفيــة حــوالي الربــع مــن مجمــل الميــاه العذبــة، وتوجــد فــي الــصخور المــسامية والمحملــة بالمــاء والرمــال أو التــشكيلات الحــصوية. وإن حــوالي 96% مــن إمــداد الميــاه فــي الولايــات المتحــدة الأمريكيــة يكــون بــشكل ميــاه جوفية.

تترشــح الميــاه الجوفيــة لأســفل عبــر التربــة بعــد هطــول الأمطــار أو تــساقط الثلــوج أو تتــسرب نحــو بــاطن الأرض مــن الميــاه الــسطحية حيــث تخــزن فــي مــستودع الميــاه الجوفيــة. عــادة مــا

يكـــون هـــذا الرشـــح بطيئـــاً جـــداً، ويـــسري بمعـــدل قـــدمين فـــي العـــام، ونادراً ما يتجاوز قدماً واحداً في اليوم.

إن مستودع أو مكمن المياه الجوفية هو تكوين جيولوجي حامل للماء يتكون من طبقات من المادة الرسوبية، ويشمل ذلك الرمل، والحصى، والصخور المسامية. يملأ الماء شقوق وتصدعات الصخور والمسامات بين دقائق الرمل والحصى. يعرف العمق الذي يبدأ عنده مكمن المياه الجوفية **بمستوى المياه الجوفية (water table)**. يمر الماء عبر منطقة غير مشبعة تحتوي مساماتها على الماء والهواء على حد سواء، وقبل أن تصل المياه إلى المكمن الجوفي. تسحب النباتات منه بعض الماء، في حين يواصل الباقي حركته نحو الأسفل إلى المنطقة المشبعة. لذا فالمياه الجوفية هي جزء المياه التحت أرضية الموجودة أسفل مستوى المياه الجوفية. بينما رطوبة التربة هي جزء من المياه التحت أرضية الذي يوجد أعلى مستوى المياه الجوفية. يعاد ملء مكامن المياه الجوفية الضحلة، وغير المحصورة بواسطة الماء المترشح للأسفل، من الترب والمواد الموجودة أعلى المستودع وبشكل مباشر. وفي النهاية تنساب المياه الجوفية إلى الأنهار، والبحيرات، والأراضي الرطبة، والمحيطات.



الشكل 6.6 دورة المياه

تاريخياً، اعتبرت المياه الجوفية آمنة جداً بحيث أن بعض شركات المياه كانت توصلها للزبائن من غير معالجة. ولكن سرعان ما تعلمنا، أن بعض مياهنا الجوفية ملوثة أو في طريقها للتلوث، وقد تلوثت مسبقاً بفعل المواد الخطرة من مكبات النفايات، وأنظمة الصرف الصحي، والمحتجزات السطحية. إن أحد تحديات ممارس علم البيئة هي أن يمنع تلوث المياه الجوفية، وأن يستعيد كمية ونوعية تلك التي تلوثت. ومع ذلك، تذكر أنه متى ما حصل تلوث للمياه

الجوفية، فإن إستعادتها يغدو أمراً صعباً، إن لم يكن مستحيلاً. وبحسب ساندرا بوستيل (Sandra Postel)، وهي مديرة مشروع سياسات الماء العالمية (GWPP)، "إننا نحتاج تغيراً كبيراً في كيفية إستخدام وإدارة المياه، إذا أردنا أن يكون لنا أي أمل في توفير إحتياجات الماء والغذاء للأعوام القادمة".

ملخص الفصل Chapter Summary

لمعظمنا، تعتبر التربة شيئاً يسهل تجاهله مقارنة بالماء أو الهواء. لا يدرك معظم الناس كيف أن إمدادنا المائي مرتبط بصورة مباشرة بصحة تربتنا. إن دراسة التربة وعلم المياه الجوفية لم تكن قط بمثل هذه الأهمية لعلماء البيئة، وممارسيها، وطلابه – ولكل الكائنات الحية على ظهر الأرض.

أسئلة المناقشة و المشكلات
Discussions Questions and Problems

9- ضع قائمة بالتربات التالية مرتبة حسب زيادة مساميتها للماء : الطين، الطفل، والطفل الرملي

10- لماذا ينبغي على كل شخص وليس على علماء البيئة فقط، الإهتمام بالحفاظ على التربة ؟

11- أُذكر المكونات الرئيسية للتربة الضرورية لنمو معظم المحاصيل.

12- ما المشاكل التي يمكن ان تحدث من الإسراف في إستخدام المياه الجوفية ؟

13- اشرح لماذا تعتبر التربات ذات الدقائق الكبيرة أو الصغيرة جداً مثاليةً لنمو النباتات؟

14- إشـــرح كيـــف تغيـــر المـــادة العـــضوية مـــن الطبيعـــة الفيزيائية و الكيميائية للتربات؟

15- ما العوامل التي تؤثر على تكوين التربة ؟

16- أُذكر أربعة مكونات أساسية للتربة ؟

17- صف عملية تكوين التربة ؟

18- كيـــف يـــؤثر حجـــم دقـــائق التربـــة علـــى قوامهـــا و علـــى تصريفها ؟

19- ما هي التعرية ؟

20- لماذا يعتبر نقص المياه الجوفية مشكلة ملحة جداً؟

موضوعات مقترحة للبحث و للمشاريع

Suggested Research Topics and Projects

- طوّر تعريفا موسعا للتربة / والتراب
- إبحـــث الأس الهيـــدروجيني للتربـــة وتـــأثيره علـــى محاصيل معينة .
- إجرِ تحليلاً للتربة لموقع في منطقتك.
- إجرِ مقطعاً للتربة لموقع في منطقتك.
- إفحص كتلة من التربة – وحلل مجتمع التربة.
- إبحث دور التربة كمنقي / مرشح للماء.
- إفحـــص تـــاريخ التربـــة / الأرض / المحافظـــة الزراعية.
- إجـــرِ بحثـــاً عـــن الممارســـات الزراعيـــة التـــي تحـــافظ على سلامة التربة.

Suggested Readings قراءات مقترحة

American Conference of Governmental Industrial Hygienists. *Air Sampling for Evaluation of Atmospheric Contaminants*. 8th ed. Cincinnati, Ohio: ACGIH, 1995.

Black, H. H. "Procedure for Sampling and Measuring Industrial Wastes." *Sewage & Industrial Wastes* 24 (January 1952): 45–65.

Boulding, J. R. *Description and Sampling of Contaminated Soils: A Field Guide*. 2nd ed. Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers, 1994.

Cahill, L., and R. Kane. *Environmental Audits*. 6th ed. Rockville, Md.: Government Institutes, 1989.

Handbook for Sampling & Sample Preservation of Water and Wastewater. Springfield, Va.: U.S. Department of Commerce, 1982.

Metcalf & Eddy, Inc. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1991.

The NALCO Water Handbook. 2nd ed. Ed. F. N. Kemmer. New York: McGraw-Hill, 1988.

Pasquill, F., and F. B. Smith. *Atmospheric Diffusion*. New York: Ellis Horwood, 1990.

Tan, K. H. *Environmental Soil Science*. New York: Marcel Decker, Inc., 1994.

Testa, S. M. *The Reuse & Recycling of Contaminated Soil*. Boca Raton, Fla.: CRC/Lewis Publishers, 1997.

Testa, S. M., and D. Patton. "Don't Dig Clean Soils—Selective Excavation Can Cut Project Costs." *Soils* (December 1993): 31–33.

Turner, D. B. "Atmospheric Dispersion Modeling: A Critical Review." *JAPCA* 29 (1979): 502–19.

U.S. Bureau of Reclamation. *Water Measurement Manual*. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1967, 16.

الفصل السابع

أخذ العينات البيئية و تحليلها

Environmental Sampling and Analysis

صندوق أدوات الممارس البيئي

The Environmental Practitioner's Tool BOX

تتوقع أن تجد في صندوق أي نجار أو ميكانيكي جاد في عمله، طقماً مكتملاً من الأدوات. ستشمل هذه الأدوات كماشات، ومقابس، ومفاتيح براغي، وأدوات المحرك، والمفكات، والمناشير اليدوية، ومشابك، ولقم اللولبة**[*]، وميكرومتر، ومسماك، ومسطرة قياس، وأشرطة، ومطارق، ومنشار معادن، وأدوات متخصصة أخرى. ولدى أي ميكانيكي، أو نجار، و/أو مشغل ماكينات أدوات أخرى غير ظاهرة للعيان، تشمل المعرفة والمهارة. وهذا أمر منطقي: فصندوق أدوات كامل سيكون بلا نفع من دون شخص يجيد إستخدامه.

وللتقني البيئي، والعالم، و/أو الممارس البيئي صندوق أدوات أيضاً. يشمل هذا الصندوق أدوات الكيمياء، والاحياء، وعلم المحيط، وعلم السموم، والجيولوجيا، وعلم المياه الجوفية، وعلم التربة، والعلوم الأخرى ذات الصلة. ومثله مثل الميكانيكي، والنجار، ومشغل الآلات لابد له من معرفة كيفية إستخدام هذه الأدوات.

يحتاج الممارس البيئي لتعليم رصين في العلوم الأساسية ومعرفة وثيقة بالعلوم ذات الصلة بالبيئة حتى يصبح قادراً على تقييم التلوث البيئي بشكل ملائم.

تذكر، أن الميكانيكي، والنجار، ومشغل الآلات والممارس البيئي يجب أن

---

[*] لقم لولبة: die set

يمتلكوا لا هذه الأدوات وحدها، بل ينبغي عليهم أن يعرفوا كيفية إستخدامها.

ومن وجهة نظر الممارس البيئي، فإن إمتلاك ناصية المعرفة العلمية يضع هذه الأدوات بين يديك – ولكنك تحتاج أيضاً للمزيد. فلابد للممارس البيئي من أن يأخذ هذه الأدوات ويطبقها. والطريقة الأساسية لتطبيقها تكون عبر أخذ العينات وتحليل الأوساط (الهواء، والماء، والتربة) التي تمثل محور اهتمامه.

أهداف الفصل
Chapter Objectives

بعد دراسة هذا الفصل يجب ان تكون قادراً على أن:

- تصف وتُعرّف كيفية أخذ العينات الممثلة، والمكوّنات الضرورية لعملية أخذ العينات بشكل ناجح.
- تصف وتُعرّف الأسباب الأربعة لأخذ العينات، ولماذا يراقب المخططون البيئيون الوسط.
- كيف تختار مكان أخذ العينات، وما هي مواصفات المكان الجيد لهذا الغرض؟
- تصف، وتُعرّف، وتناقش نوعي العينات، واستخدامتها، ومواطن قوتها، وضعفها.
- تصف، وتُعرّف، وتناقش طريقتي أخذ العينات، وميزات ونواقص كل منهما.
- تصف، وتناقش الإعتبارات الأساسية لإختيار موقع قياس تدفق الوسط.
- تصف، وتناقش مفاتيح النجاح لبرامج أخذ العينات.
- تصف، وتناقش كيف يتلوث الجو بالملوثات، والظروف التى تؤثر على جودة الهواء.

- تصف، وتُعرّف، وتناقش الطرق الأكثر شيوعاً لتقييم جودة الهواء.
- تصف، وتُعرّف، وتناقش آلية تلوث التربة/و المياه الجوفية.
- تصف، وتُعرّف، وتناقش الطرق الشائعة المستخدمة لأخذ العينات من التربة والمياه الجوفية.

خطة الفصل

Chapter Outline

- مناقشة:الملوثات في الماء، والهواء، والتربة.
- مناقشة وتعريف: التخطيط، وتحليل العينات الممثلة، ورفع التقارير.
- مناقشة: أهداف برامج أخذ العينات.
- مناقشة: إختيار أماكن أخذ العينات.
- مناقشة وتعريف:أنواع العينات.
- مناقشة وتعريف: طرق الجمع – اليدوية و الآلية.
- مناقشة: القياسات الدقيقة.
- مناقشة: الإجراءات الميدانية.
- مناقشة و تعريف: طرق التقييم العامة.
- مناقشة و تعريف: تقييم جودة الهواء المحيط.
- مناقشة و تعريف: تقييم التربة و المياه الجوفية.
- مناقشة: التحليل المعملي.

Key Terms المصطلحات الأساسية

مسبار التربة	anger	النمذجة	modeling
آخذات العينات الآلية	automatic samplers	آبار المراقبة	monitor wells

العينات المركبة	composite sample	المراقبة	monitoring
النفاد	depletion	العينة الممثلة	representative sample
التشتت	dispersion	سبر التربة	soil boring
الحفر	excavation	التحول	transformation
الإختبار الجيوفيزيائي	geophysical testing	التخندق	trenching
العينات الانتزاعية	grab samples		

مقدمةIntroduction

تجد الملوثات طريقها عبر الاستخدام غير الملائم، والتخزين، و/أو طرق التخلص إلى الهواء، وإلى المياه الجوفية، والتربة. وحين تنسكب مادة سامة، أو تُطلق، أو تتسرب، فإن تأثيرها وحركتها يعتمدان على عدة عوامل. في الهواء، تتأثر الجودة بمقدار هذه الأشياء التي نراها بالعين أو تحت المجهر (حبوب اللقاح، والغبار، الخ) وتلك التي لا نستطيع رؤيتها (الأوزون، وكبريتيد الهيدروجين، وثاني أوكسيد الكربون، إلخ).أما في حالة تلوث التربة والمياه الجوفية، وعندما تتسرب المادة الملوثة أو يتم إطلاقها إلى السطح، فإن حركتها تعتمد على طبيعة المادة ونطاق التربة. يزود هذا الفصل الممارس البيئي بهذه "الأدوات" الإضافية التي يحتاجها لأداء المهمة الحرجة والمتمثلة في تقييم مشاكل التلوث البيئي.

أخذ العينات البيئية و تحليلها:
Environmental Sampling and Analysis:
ماذا يعني؟
What's All about?

إن الحصول على عينات بيئية موثوقة أمر صعب. وبصورة عامة، ولغرض الوثوقية، فإن مجهود خاص يجب أن يوجه إلى عملية أخذ **العينات الممثلة** (representative samples) نفسها. فبحسب مكتب الدراسات والتطوير في الوكالة الأمريكية لحماية البيئة (EPA)، تعبّر "العينة الممثلة" من خلال درجة دقتها وانضباطها في تمثيل البيانات، خاصية معينة لمجتمع ما، أو تباين متغير في نقطة الاعتيان، أو حالة العملية، أو ظرف بيئي. فإن أخذ عينات ممثلة يعد أمراً شديد الأهمية.

ومع ذلك، فإن الاعتيان يعني أكثر من مجرد ضمان مدى تمثيل العينة. فعمليات الاعتيان لا بد أن تبدأ أولاً بخطة – ومن ثم تنفذ بطريقة ماهرة. تُملي الإحتياجات المعينة، بالطبع، تحديد التقنيات التي سيتم إدراجها في خطة أخذ العينات – وتحديد التقنيات التي سيتم إستبعادها.

يجب إستبعاد التقنيات، وحدها، حين لا تستوفي أهداف أخذ العينات – وليس بسبب هفوة نسيان أخذت في الإعتبار.

إن الهدف الرئيسي من خطة الاعتيان، هو أخذ عينات ممثلة من قطعة متنوعة وحركية (متغيرة) من بيئتنا، وذلك لتحليلها بغرض العثور على مكونات لا تكون سوى جزء قليل من العينات (عادة يكون تركيزها في مدى أقل من أجزاء من البليون). لا يعد العمل مع أجزاء متناهية الصغر من العينات سوى واحدة من المشاكل العديدة لأخذ العينات. ومن المشاكل الأخرى أن المصفوفة قد تكون في غاية الصعوبة، مما يفتح المجال لأخطاء تحليلية مثل الحصول على نتائج إيجابية كاذبة أو إخفاء نتائج أخرى. كما يمكن لتداخلات أخرى أن

تحدث خلال عمليتي نقل وحفظ العينات. كذلك تعقد تفاعلية (عدم ثبات) بعض المواد الخاضعة للتحليل من عملية أخذ العينات وتحليلها.

إذاً، ما الذي يعنيه هذا؟ يعني هذا أن عملية أخذ العينات هي، من دون شك، الحلقة الأضعف في **عملية التخطيط – وأخذ العينات – وتحليلها – وكتابة التقارير عنها**. وبإختصار، يمكن القول إن وثوقية المعلومات المتحصل عليها لا يمكن أن تكون أكبر من وثوقية الحلقة الأضعف في سلسة الأحداث المكونة لجهود أخذ العينات البيئية وتحليلها.

والخلاصة هي: ما نفع أي تقرير تحليلي إذا كانت العينات غير ممثلة لمصدرها ؟

الاعتبارات العامة لبرنامج أخذ العينات
General Considerations for Sampling Program

ملحوظة: معظم المعلومات العامة عن أخذ العينات المقدمة في الجزء القادم تستند إلى معلومات موجودة في الدليل العملي لشعبة التجارة بخصوص أخذ وحفظ عينات المياه ومياه الصرف الصحي، للعام *1982 (الذي يحتوي على تطبيقات لكل الأوساط البيئية الثلاث).

لا يمكن تطبيق برنامج أخذ عينات واحد للأوساط البيئية الثلاث. ومع ذلك، ينبغي لكل برنامج أن يضع في إعتباره:

- أهداف برنامج أخذ العينات.
- مواقع نقاط أخذ العينات.
- أنواع العينات.
- طرق جمع العينات.
- الإجراءات الميدانية.

---

* US Department of Commerce’s Handbook for sampling and Sample Preservation of water and Wastewater

أهداف برنامج جمع العينات Objectives of Sampling Programs

نستخدم برامج الاعتيان والتحليل لأربعة أسباب رئيسية: التخطيط، والبحث والتصميم، وضبط العملية، والتنظيم. تتشابك هذه الأهداف في البرنامج الكلي لجودة الوسط البيئي، وتغطي مراحل مختلفة من التخطيط وحتى التطبيق. وإستناداً إلى هذه الأهداف، نقارن بين برامج أخذ العينات بصورة عامة:

يقوم المُخَطِط البيئي بعملية المراقبة من أجل:

21- أن يحدد مرجعية ممثلة لشروط جودة الوسط،

22- أن يحدد السعات الإستيعابية لوسط معين،

23- أن يتتبع أثر مشروع أو نشاط معين على البيئة،

24- أن يحدد مصدر الملوث،

25- أن يقيّم النزعات طويلة الأجل،

26- أن يخصص حمل النفايات، و

27- أن يقدم توقعات لخواص الوسط المستقبلية.

مواقع الاعتيان Sampling Locations

في الغالب، تُعرّف أهداف برامج الاعتيان المواقع التقريبية لأخذ العينات (وعلى سبيل المثال، النفايات الداخلة (Influent) والخارجة (effluent) من منشآت معالجة أو إمداد المياه الواردة). ومع ذلك، فعادة ما تُعطي أهداف برامج الاعتيان مؤشرات عامة (تأثير الجريان السطحي على جودة المجرى) عند تقييم جودة إمدادات مياه الشرب لمجتمع معين.

تجرى معظم مسوحات العينات وتحليلها اللاحق بغرض الإمتثال لمتطلبات القوانين الفدرالية، والولائية، والمحلية. من أمثلة الرقابة القانونية النظام الوطني

للتخلص من الملوثات (NPDES) والذي تأسس إمتثالاً لتعديلات قانون ضبط تلوث الماء الفدرالي (FWPCA) واللائحة 503 من اللوائح التنظيمية للوكالة الأمريكية لحماية البيئة المتعلقة بالتعامل مع والتخلص من، وترميد المواد الصلبة الحيوية، وذلك بحسب قانون الهواء النظيف. قد تتداخل الأهداف الخاصة في تجميع المعلومات التنظيمية وتتباين بشكل كبير، ولكن عادة ما تؤدى بغرض:

- التحقق من بيانات المراقبة الذاتية،
- التحقق من إلتزامها بالأذونات التنظيمية،
- دعم التطبيق الفعلي،
- دعم إعادة إصدار الأذونات ومراجعتها، أو
- دعم العناصر الأخرى للبرنامج، مثل معايير جودة الوسط والتي تحتاج لأنواع متنوعة من البيانات.

أنواع العينات Types of Samples

يعتمد نوع العينة المجمّعة على تباين التدفق، وتباين جودة الوسط (الماء، والهواء، والتربة)، والدقة المطلوبة، إلى جانب توفر القروض اللازمة لإجراء برامج أخذ العينات وتحليلها.

سينصب إهتمامنا على نوعين من تقنيات أخذ العينات: **العينات الإنتزاعية والعينات المركبة.**

العينات الانتزاعية (grab samples) هي عينات منفردة، مختلفة تجمع في فترات زمنية لا تتجاوز 15 دقيقة. يمكن أن تأخذ العينة الانتزاعية بشكل يدوي أو باستخدام مضخة، أو مغرفة، أو شفاط، أو أي جهاز آخر ملائم. يعد جمع العينات الانتزاعية مناسباً عندما يكون من الضروري:

1. تشخيص جودة الوسط في زمن معين.
2. توفير معلومات عن التراكيز القصوى والدنيا.
3. السماح بتجميع أحجام متباينة من العينات.
4. التعاون في تكوين عينات مركبة.
5. مقابلة متطلبات إذن الإطلاق.

تستخدم العينة الانتزاعية عندما: (1) لا يكون الوسط المراد أخذ العينة منه ذا تدفق مستمر،(2) تكون خواص الوسط أو خواص النفايات ثابتة،(3) تكون المتغيرات الخاضعة للتحليل مرشحة للتغير بفعل التخزين مثل الغازات المذابة، ومادة كيميائية متبقية، ومادة كيميائية ذائبة، والنفط والشحم، ومتغيرات الكائنات الحية الدقيقة، والكائنات الحية، والأس الهيدروجيني،(4) يرغب في الحصول على معلومات عن التباين الأقصى والأدنى للهواء،(5) يراد تحديد تاريخ جودة الوسط على فترات زمنية قصيرة نسبياً؛ و (6) يراد تحديد التباين المكاني (على سبيل المثال، تباين المتغير عبر مقطع عرضي و / أو عمق مجرى جسم مائي كبير).

أما **العينة المركبة** (Composite sample) فهي عينة تتكون من مزج عينات مختلفة أخذت عند نقاط دورية زمنية أو بأخذ نسبة مستمرة من التدفق. يعتمد عدد العينات المختلفة التي تكون العينة المركبة على تباين تراكيز الملوث وعلى التدفق. وتُعرّف العينة المركبة التتابعية (sequential composite sample) على أنها سلسلة من العينات الإنتزاعية الدورية، يحتفظ بأي واحدة منها في وعاء مختلف، ثم تركّب بحيث تغطي فترة زمنية أطول.

تستخدم العينات المركبة عند تحديد التراكيز المتوسطة وعند حساب تحميل الكتلة / وحدة الزمن.

طرق جمع العينات (الاعتيان) Sample Collection Methods

يمكن جمع العينات بطريقة يدوية أو بواسطة جامع عينات آلي. وبغض النظر عن نوع الطريقة المستخدمة، فإن نجاح برنامج الاعتيان يتناسب مع مقدار العناية التي تولى للعملية. ويتم الحصول على أفضل أداء عند استخدام عمال تقنين مدربين.

يتضمن **أخذ العينات اليدوي** (manual sampling) حداً أدنى من الكُلفة الأولية. ويمثل العنصر البشري مفتاح النجاح أو الفشل لهذا البرنامج. والعملية ملائمة تماماً عندما يكون عدد العينات صغيراً، ولكنها مكلفة وقد تستهلك زمناً طويلاً عند إستخدامها في برامج أخذ عينات كثيرة وروتينية. تشمل مزايا أخذ العينات يدوياً تكلفة مالية قليلة، ومن دون حاجة للصيانة، أو القدرة على جمع عينات إضافية في فترة قصيرة. في حين تشمل بعض عيوب هذه الطريقة إحتمالية التباين المتزايد بفعل التعامل مع العينة، وعدم الإتساق بين العينات، والكلفة العالية للعمالة. وبالإضافة إلى ذلك فإن عملية الاعتيان هي عملية رتيبة ومملة لمن يكلف بها من العمال.

آخذات العينات الآلية (automatic samplers): رخيصة، ومتنوعة، ويمكن الإعتماد عليها. كما تزيد وتحسّن من القدرات – فهي تزيد من وتيرة أخذ العينات، كما أن هناك حاجة متزايدة للاعتيان بسبب المطلوبات التنظيمية. وتتوفر هذه الوسيلة في مستويات شديدة الإختلاف من التعقيد، والأداء، والوثوقية الميكانيكية، والكلفة. وتشمل المزايا الإضافية لإستخدام الآلات الأوتوماتيكية إتساق العينات، والحاجة لحد أدنى من العمالة، والقدرة على جمع عدد كبير من العينات في حالة التقدير البصري لتباين العينات أو في تحليل العينات المفردة. وفي حين تشمل العيوب الحاجة لقدر معقول من الصيانة، وأن

الحجم عادة ما يكون محصوراً بتحديدات معينة، إلى جانب انعدام المرونة، والاحتمال الدائم لتلوث العينات.

القياسات Measurements

تقود القياسات غير الدقيقة عند أخذ العينات مثل قياسات التدفق إلى عينات مركبة ذات نسب غير دقيقة، الشيئ الذي يقود بدوره إلى نتائج غير دقيقة. لابد من توخي الحذر في إختيار مواقع القياس. يعطي الموقع المثالي القياسات المرغوبة لمقابلة أهداف البرنامج، ويوفر سهولة التشغيل، كما يسمح بسلامة العمال والأدوات.

يتكون نظام قياس تدفق الوسط عادة من جهاز أولي ذي تفاعل ما مع الوسط، وجهاز ثانوي يترجم هذا التفاعل إلى الصيغة المقروءة أو المسجلة المرغوبة.

يمكن تصنيف طرق قياس الوسط بشكل عام، بحسب نوع الوسط الذي تأخذ العينات منه إلى أربع مجموعات:

- قياس تدفق مغلق الدائرة.
- قياس تدفق للأنابيب التي تطلق إنبعاثاتها للهواء.
- قياس تدفق للقنوات المفتوحة.
- وطرق إضافية للقياس

الإجراءات الميدانية Field Procedures

تعد الإجراءات الميدانية أمراً بالغ الحيوية عند أخذ العينات البيئية. وإذا لم تطبق الإحتياطات اللازمة في الإجراءات الميدانية، فإن برنامج أخذ العينات برمته يصبح بلا معنى – على الرغم من التخطيط الجيد، ومن التسهيلات التحليلية، والعمال. والمفتاح لنجاح برنامج أخذ العينات يكمن في التدبير

الجيد، وجمع العينات الممثلة، والتعامل الملائم مع العينات وحفظها، إلى جانب سلسلة ملائمة من إجراءات التحرز. تتسبب الإجراءات غير السليمة في أي مهمة من مهام أخذ العينات في نتائج غير دقيقة.

دراسة الحالة 1.7 Case Study

سيدني، أستراليا Australia،Sydney

منذ نهاية شهر تموز/يوليو وحتى نهاية شهر أيلول/سبتمبر 1998، وفي ثلاث مناسبات، أضطر سكان مدينة سيدني، بأستراليا، إلى إتخاذ الاحتياط المتمثل في غلي مياه الشرب الخاصة بهم. فقد كشفت الإختبارات عن وجود تلوث القارضيا (Giardia) والكريبتوسبوريديا (Cryptosporidia) في إمدادات المياه العامة. وبحسب مسؤولي مدينة سيدني، وفي مثل هذه المستويات، فإن القارضيا والكريبتوسبوريديا لا تمثل سوى تهديد صحي قليل أو منعدم. فلم يتم الإبلاغ عن أي حوادث مرضية على علاقة بوجود القارضيا والكريبتوسبوريديا – ومع ذلك، فإن الأعمال التجارية التي تعتمد على استخدام كميات كبيرة من المياه النقية، لم تستطع العمل في ظل وجود ماء في مستوى جودة تستحق الإنذار بالغليان.

أشارت الدلائل إلى أن المنشأة ذاتها كانت سبب المشكلة، وأن نتائج اختبارات الماء التي أجريت من قبل المختبر (تقنية المياه الأسترالي) قد أسيأت قرآءتها (أو إجراؤها)، أو تفسيرها. تركت النتائج الكارثية لما بعد هذه الحوادث شركة سيدني للمياه (وهي منظمة خاصة مسؤولة عن تشغيل أنظمة المعالجة منذ أن اعتمدت الخصخصة في يناير 1995) في فوضى عارمة. فبدءاً من 29 تموز/يوليو، تسببت الإنذارات الثلاثة الخاصة بغلي الماء قبل شربه (إنتهى الإنذار الأخير في 19 أيلول/سبتمبر) في إجراء تحقيقات موسعة في أسباب ومصادر التلوث، واستقالة المدير الإداري ورئيس الشركة (الذي انتهت مسيرته

السياسية المشرقة أسوأ نهاية). كما جُردت شركة سيدني للمياه من المسؤولية ومن أصول قيمة، بفقدان التحكم في منشآت المياه، والخزانات، ومناطق مستجمعات المياه للهيئة الحكومية الجديدة للمستجمعات المائية. إلى جانب ذلك وجب على شركة سيدني للمياه أن تدفع تعويضات لسكان المناطق السكنية عن كلفة ومشاكل استخدام المياه المعلبة، كما رفعت عليها قضية قانونية كبيرة من أصحاب الأعمال والصناعات الذين تضرروا من توقف أعمالهم. أما في الجانب المشرق، فإن استراليا وضعت قانوناً على شاكلة قانون الماء النظيف الأمريكي (والذي ثبت، على الأقل، توجيهات تتبع في مثل هذه الحالات)، ودعت مدينة سيدني إلى العمل على ضمان معايير وقائية للمحافظة على حماية مستجمعات الأمطار.

تعتبر الاختبارات، ونتائجها، والصعوبة في تحديد المصدر (أو المصادر) والسبب في التلوث، من النقاط ذات الإهتمام الخاص. فقد حذر الخبراء الأمريكيون من أن العثور فعلياً على المصدر المباشر للتلوث أمر غير مرجح الحدوث (فأسباب الوباء الذي أصاب ميلووكي عام 1995 ظلت غير مؤكدة لحد الآن، وأوصوا بتثبيت إجراء التعقيم بواسطة الأوزون، أو استخدام مرشحات دقيقة لضمان مياه شرب آمنة. ومع ذلك تفترض نصائح الخبراء، إن وجود تلوث فعلي بالقارضيا والكريتوسبوريديا – في هذه المنطقة من استراليا محل شك كبير.

وخلال فترة شهرين، تباينت نتائج الاختبارات على المياه نفسها بشكل كبير. فقد كانت الإختبارات التي أجريت في الإغلاق الأخير أقل دقة من تلك التي أجريت في الإغلاق الأول – وهو أمر غير مستغرب في ظروف الهلع التي كانت سائدة في المختبر، تحت ضغط العثور على أسباب، والقلق من إثارة إما سخط المستهلكين بإزعاجهم من غير سبب أو مرض و موت المستهلكين جراء

التلوث. فقد أعطت نتيجة أحد العينات الأولية قراءة 1000 بويضة من الكريبتوسبوريديا. في حين أعطت قراءة أخرى عند فحص العينة مرة ثانية بويضتين لا غير. ويمكن أن يكون التقنيون قد خلطوا بين الطحالب غير المؤذية والشبيهة بالقارضيا وبين الكريبتوسبوريديا والبويضات الخطيرة، قارعين بذلك جرس إنذار خاطئ (ومكلف) . وحتى عند إعادة الإختبار، كانت النتائج متذبذبة. فقد عدّت شعبة الصحة الجديدة في جنوب غرب ويلز ما قدروه بأكثر من 9000 بويضة في مائة لتر من المياه المعالجة في أحد العينات – وهو مستوى أعلى مما ينبغي أن يجده الاختبار في عينة من مياه المجاري. وكما أشار أحد الخبراء من شعبة الهندسة المدنية في جامعة جنوب غرب ويلز، فإن أعلى مستوى تم رصده في الولايات المتحدة الأمريكية كان 1000 – وكان هذا في الولايات المتحدة حيث أصيب مئات الآلآف من البشر. وأشار الخبير أيضاً إلى أن الأنواع الأخرى من البكتريا البرازية يجب أن تكون حاضرة في العينة، ولكنها لم تكن موجودة (The Age 29/9/98).

ظهرت هذه القصة في في قصاصات من عناوين الصحف المحلية في سيدني، بدءاً من نهاية شهر تموز/يوليو، من الاستجابة الأولية لإنذار الغلي الأول وحتى المد المتصاعد للقضايا القانونية في كانون الثاني/يناير 1999.

أزمة المياه الملوثة – العصر (30/7/98) ز إيج

كار يطالب بالتحقيق في جرثومة المياه – أي جي إي (98/07/30)

الرسالة لم تصل إلى بعض المجتمعات – سيدني مورننغ هيرالدز (98/07/30)

جرثومة المياه خطر على مرضى الأيدز– أي جي إي (98/07/30)

الإعلان عن تحقيق مستقل– أي جي إي (98/07/30)

جرثومة مياه سيدني: أشرح من فضلك– أي جي إي (98/07/30)

رعب مياه سيدني– أي جي إي (98/07/30)

أزمة المياه تمتد إلى العطلة الاسبوعية– هيئة الإذاعة الأسترالية (98/07/31)

“مياه الحمام" تطفئ ظمأ المدينة– إس إم إتش (98/07/31)

تناقص عدد حراس الخزان– إس إم إتش (98/07/31)

كل سيدني تحت إنذار تلوث المياه– أي بي سي(98/07/31)

لا، إنها ليست كلكتا، بل سيدني– أي جي إي (98/07/31)

كيف تم خداع سيدني– أي جي إي(98/07/31)

كار يأمر بإجراء تحقيق– أي إن إن (98/07/31)

عملية ضخمة لتنظيف النظام– أي إن إن (98/07/31)

كيف التحقنا بالعالم الثالث– أي إن إن (98/07/31)

أزمة المياه تمسك بخناق سيدني– إس إم إتش (98/07/31)

لمحة من طعم العالم الثالث– إس إم إتش (98/07/31)

لا داعي للقلق، يقول الأطباء– إس إم إتش (98/07/31)

الأطفال يتعلمون كيف يهزمون "الجراثيم"– إس إم إتش (98/07/31)

تجنبوا مياه الحنفيات من الآن فصاعداً، كما يقول مجلس الإيدز– إس إم إتش (98/07/31)

نصائح للعمال بإحضار زجاجات المياه– إس إم إتش (98/07/31)

الكلاب ليست هي الملومة–(98/07/31)

نكات عن تحول الماء إلى خمر– إي جي إم (98/08/01)

لا زال مصدر التلوث يتحدى جهود اقتفائه–إس إم إتش (98/08/01)

تحذير لستة سنوات من الطفيليات– إس إم إتش (98/08/01)

سيدني تبحث عن حل– إس إم إتش (98/08/01)

الأمانة تستحق الاحترام، بحسب زعم أحد قادة الصناعة– إس إم إتش (98/08/01)

ستتطلب الثقة المكسورة سنوات حتى تجبر– إس إم إتش (98/08/01)

جماعات البيئة تحذر من تهديدات صحية أوسع– إس إم إتش (98/08/01)

سيدفع مورّدي المياه الثمن غالياً – إس إم إتش (98/08/01)

الجراثيم الصغيرة تعيش في الأمعاء– إس إم إتش (98/08/01)

نتائج الاختبارات لا تزال سرية – إس إم إتش (98/08/01)

تجميع المشكلة – إس إم إتش (98/08/01)

الوزير: خطأ فادح وراء التحذير المحدود–أي إن إن (98/08/01)

يمكن لجرثومة الماء أن تظهر في أي مكان– أي إن إن (98/08/01)

أصحاب المياه المعبئة جاهزون للعمل– أي إن إن (98/08/01)

الماء أعجوبة نقية في العادة– أي إن إن (98/08/01)

الوزير يتعهد بالعثور على الفاعل–أي جي إي (98/08/01)

وداعا* لمياه سيدني–إس إم إتش (98/08/01)

مياه ملبورن مثال جيد–أي جي إي (98/08/02)

إعلان زوال الخطر عن مياه بعض ضواحي سيدني–أي بي سي(98/08/02)

مياه الحنفية آمنة، إلا أن الإختبارات ما زالت مستمرة–أي جي إي (98/08/03)

الخبراء ينصحون سيدني بالاستثمار في مرشح بقيمة 100 مليون– أي جي إي (98/08/03)

فاسدة من اليوم الأول– إس إم إتش(98/08/04)

فصل رئيس لجنة تحقيقات المياه–أي إن إن(98/08/04)

مياه نظيفة للضواحي– أي إن إن (98/08/04)

الوزير يوسع من شبكة الفضيحة– أي إن إن (98/08/04)

المحامون أكبر المنتفعين من الأزمة– أي إن إن (98/08/04)

المال الذي بُدد– أي إن إن (98/08/04)

التجارة تحسب التكاليف و الخيارات– إس إم إتش(98/08/04)

المشاكل دائما في طريقها للرئيس هيل–إس إم إتش(98/08/04)

مزاعم بأن أفعال شركة سيدني للمياه تشير إلى نقص العناية بمستجمعات المياه–أي بي سي(98/08/04)

صالحة للشرب، و كار يبحث الآن عن المجرمين– إس إم إتش(98/08/05)

يمكنك أن تقود الرئيس للماء...– إس إم إتش (98/08/05)

قد تصل كلفة الإصلاحات إلى 300 مليون– إس إم إتش (98/08/05)

لا دراما، في بلد الكابتشينو– إس إم إتش (98/08/05)

مستجمعات المياه تتلوث بمياه المجاري– إس إم إتش (98/08/05)

جراثيم المياه سبق وجودها ما حدث في ضاحية بروسبكت– إس إم إتش (98/08/05)

المياه الآمنة : الكذبة الكبيرة– إس إم إتش(98/08/07)

غزو الطفيليات يزيد من الشكوك حول منشأة المعالجة– إس إم إتش (98/08/07)

الخليج الذي يعطي نتائج مثل المجاري– إس إم إتش (98/08/07)

المعارضة تطالب بإقالة هيل في قضية "التدخلات"– إس إم إتش (98/08/07)

المال أنفق بالفعل– إس إم إتش (98/08/07)

مستجمعات المياه ستحظى بحماية أفضل في الخطط الجديدة– إس إم إتش (98/08/07)

هل لن يستقيل بسبب تلوث المياه–أي بي سي (98/08/20)

نتائج إختبارات المياه : إستقالة المدير– إس إم إتش (98/08/20)

مخاطر صحية حقيقية، على حد قول رئيس لجنة التحقيق– إس إم إتش (98/08/20)

هيل يتبرأ من دوره في أزمة المياه–إس إم إتش(98/08/21)

منشأة معالجة المياه قد تكون مسؤولة قانونياً عن أزمة المياه الملوثة– إس إم إتش (98/08/21)

هيل رجل حل المشكلات الرجل الحقيقي– إس إم إتش (98/08/21)

إنذار جديد: إغلوا كل المياه– إس إم إتش (98/08/26)

شعبة الصحة تعيد إصدار تحذير المياه لسيدني–أي بي سي(98/08/26)

نتائج جيدة لآخر إختبارات المياه في سيدني–أي بي سي(98/08/26)

نهاية عهد المياه الآمنة،و الموثوقة– إس إم إتش (98/08/20)

نحتاج لقوانين أكثر صرامة،على حد قول الجمعية الاستشارية الأسترالية– إس إم إتش (98/08/27)

بعد اللوم، المهم هو العلاج فقط– إس إم إتش (98/08/27)

القراءات عالية تستمر في الورود– إس إم إتش (98/08/27)

قضية قانونية تضم أكثر من 500 متضرر– إس إم إتش (98/08/27)

ما الذي يجعل صيادي السمك غاضبين لهذه الدرجة– إس إم إتش (98/08/27)

الجراثيم لم تستطع التقدم على الجبهة المائية– إس إم إتش (98/08/27)

العثور على الجراثيم في المصدر الرئيسي لمياه سيدني–أي بي سي (98/08/28)

إنذار المياه يستمر في العطلة الأسبوعية–إس إم إتش (98/08/28)

حل كولينز: أضف خبرة جديدة و حرك–إس إم إتش (98/08/28)

إزدهار الطحالب و ليس الجراثيم وراء الأزمة–إس إم إتش (98/08/29)

المياه في طريقها للتحسن و لكن السبب لا زال مجهولاً–إس إم إتش (98/08/31)

ستبدأ المدينة في التخلي عن غلي المياه اليوم–إس إم إتش (98/09/01)

شركة سيدني للمياه تستعد للقضايا القانونية–إس إم إتش (98/09/02)

عرض حكومي على شركة سيدني للمياه–أي جي إي (98/09/08)

الأوزون يمكن أن يحث ثغرة في جودة المياه–إس إم إتش (98/09/08)

ثلاثة من كل أربعة يطلبون مشورة رسمية–إس إم إتش (98/09/08)

الجراثيم منتشرة في وحل مستجمعات المياه–إس إم إتش (98/09/08)

أحدث التهديدات الصحية: اللامبالاة–إس إم إتش (98/09/08)

سياسة الوزراء "الوضيعة"–إس إم إتش (98/09/08)

جرثومة الماء أتت لتبقى–أي إن إن (98/09/09)

هيئة المياه تؤثر السلامة في شأن الجراثيم الخطرة–أي جي إي(98/09/09)

أكبر المنفرات للسياح منذ هانسون، حسب ستون–أي إن إن (98/09/09)

البرلمان غاضب بشأن أزمة المياه–إس إم إتش (98/09/09)

تأجيل خطة جعل المياه آمنة–إس إم إتش (98/09/10)

المرشحات المنزلية تضمن إبعاد الجراثيم–إس إم إتش (98/09/10)

لغز ضاحية بروسبكت–إس إم إتش (98/09/10)

اللجنة الأوليمبية تحقق مع سيدني في موضوع سلامة المياه–أي جي إي (98/09/11)

رئيس الألعاب يطلب تطمينات بشأن المياه–إس إم إتش(98/09/11)

المياه "ذات الجودة العالية" ستحسن من إمداد المياه غير المعالجة–إس إم إتش (98/09/11)

تحذير متوقع من القارضيا–إس إم إتش (98/09/11)

نصيحة لمالكي الأحواض بإضافة المزيد من الكلور–إس إم إتش (98/09/11)
سيدني تحصل على المياه في إمدادها من الكلور–أي إن إن (98/09/13)
تجاهل جراثيم المياه–أي إن إن (98/09/14)
المياه الآمنة موضع شك–أي إن إن (98/09/15)
درجة عالية من التلوث اكتشفت قبل ثمانية شهور–إس إم إتش(98/09/15)
إنها لا تمطر أبداً لمصنعي المياه المعبأة، بل تنهمر إنهماراً–إس إم إتش (98/09/15)
يمكن للراديو أن يخيف هذه الجراثيم الكريهة–إس إم إتش (98/09/15)
قد تظل المياه غير آمنة لمدة سنتين–أي إن إن(98/09/16)
رجل مصاب بفيروس الأيدز يقاضي شركة سيدني للمياه–إس إم إتش (98/09/16)
لا مياه في الأنابيب بعد إغلاق ضاحية بروسبكت–إس إم إتش (98/09/16)
عودة المياه – بلا ضمانات– أي إن إن(98/09/20)
مسؤول المياه في إجازة– أي إن إن (98/09/23)
أعضاء البرلمان يطلبون كل الوثائق ذات الصلة بأزمة المياه–إس إم إتش(98/09/25)
عودة رعب مياه سيدني للغليان مرة أخرى–أي جي إي (98/09/27)
على ذمة خبير، جراثيم المياه هي طحالب–أي جي إي (98/09/10)
لجنة التحقيق في المياه تُعطى صلاحيات أكبر–إس إم إتش(98/10/22)
مكليلان يتعهد بتخفيف قوة شركة سيدني للمياه– إس إم إتش(98/10/29)
الماء: حان وقت التعويض– إس إم إتش(98/10/30)
مكليلان يهز ويثير الاضطراب في هرمية شركة سيدني للمياه– إس إم إتش(98/10/30)
الاستسلام للمياه سيكلف الملايين– إس إم إتش(98/11/04)

بداية جديدة للمياه- إس إم إتش(98/12/04)

أزمة المياه تعزى لعامل الإهمال- إس إم إتش(98/12/16)

نتائج التحقيقات تبدأ في الظهور- إس إم إتش(98/12/16)

رمي المياه الفاسدة في البحر "خيار أخير"- إس إم إتش(99/01/09)

المتضررون من مياه الحنفيات يتجمعون- إس إم إتش(99/01/13)

للوصول إلى المقالات الفعلية، اذهب الموقع التالي في الشبكة العنكبوتية yahoo.com/Full_Coverage/aunz/polluted_water_in_sydney/.

والعبرة المستفادة من هذه القصة هي إتقن عملك. كن متأكداً من تقنياتك وأفعل كل ما بوسعك لضمان دقة عيناتك ونتائج إختباراتك. فبوصفك عالماً بيئياً، ستجد نفسك مواجهاً بموقف يتطلب منك تقديم نتائج إختبارات قد تفتح الباب لعاصفة مشابهة من المشاكل – أو تعلن للصحافة عن إمداد مائي غير آمن.

طرق التقييم العامة للأوساط البيئية
General Evaluation Methods
تقييم جودة الهواء المحيط
Ambient Air Quality Evaluation

لتقييم جودة الهواء المحيط، فإنك بحاجة لمعرفة أساسية بكيفية تلوث الهواء بالملوثات. تبدأ عملية التلوث هذه بمصدر ثابت، أو متحرك، يطلق الملوثات في الجو. وعندما تطلق هذه الملوثات، فإنها تتعرض لعمليات التشتت الجوي، والتحول، والنفاد.

يتحدد **تشتت** (dispersion) الملوثات في الجو بحالة الرياح والإضطرابات الجوية. وتؤدي الرياح الأفقية دوراً مهماً في نقل وتخفيف الملوثات. فبزيادة سرعة الرياح، يزداد عمود الهواء المار على مصدر ما في

فترة معينة من الزمن ويتناسب تركيز الملوث تناسباً عكسياً مع سرعة الرياح؛ بمعنى أنه إذا ظل معدل الإنبعاث ثابتاً، فإن مضاعفة سرعة الرياح ستقلل من تركيز الملوث إلى النصف. وينتج الاضطراب الجوي من عاملين (1) عدم انسياب الهواء بسلاسة قرب سطح الأرض وذلك بسبب الإحتكاك الناتج مع سطح الأرض وبسبب المنشآت البشرية مثل المباني، و (2) بسبب التسخين الجوي الذي يؤدي للإضطراب.

يشير "**التحول**" (transformation) إلى التحولات الكيميائية التي تحدث في الجو (مثل تحول ملوث أولي إلى ملوث ثانوي، مثل الأوزون).

و يشير **النفاد** (**depletion**) إلى حقيقة أن الملوثات التي تطلق إلى الجو لا تظل باقية فيه إلى الأبد. ويؤثر الطقس على التلوث بعدة طرق. فالأمطار تساعد على غسل الجو من الملوثات، على الرغم من أن هذه الملوثات قد تنتقل إلى وسط آخر (التربة والماء). كذلك، قد تخفف الرياح والعواصف من تركيز، الملوثات عن طريق التخفيف، مما يجعل الملوثات أقل إحداثا للمشاكل في منطقة إطلاقها.

يرتفع الهواء المسخن بواسطة الشمس، حاملاً التلوث معه. وعندما تترافق كتلة الهواء الصاعد مع الرياح، فإن التلوث يحمل عالياً ويتخفف مع الهواء النظيف.

لتقييم جودة الهواء المحيط، فإن أكثر الطرق تطبيقاً هي المراقبة والنمذجة. تشمل **المراقبة** (monitoring) إستخدام أجهزة القياس لتحديد تركيز ملوث معين، في موقع محدد، في زمن معين. والميزة الأساسية لعملية المراقبة هي القدرة على تحديد التركيز الدقيق للملوث، والتي تحدد بقيود الدقة ومستوى الإكتشاف لطريقة القياس وحدها. أما العيوب الأساسية فهي (1) أن المراقبة مكلفة،(2) أن مساهمة المصادر المعينة للإنبعاثات على التركيز الكلي المقاس يمكن أن يكون أمراً يصعب تحديده، و(3) وتأثير المصادر المتوقعة غير الفاعلة لحظياً لا يمكن تقييمه بطرق المراقبة.

ومن طرق التقويم الأخرى استخدام النماذج الرياضية الخاصة بتشتت وتحول الملوثات لتقدير تراكيزها في المناطق المحيطة. والميزة الأساسية للنمذجة هي إمكانية استخدامها لتقدير التراكيز في مئات المواقع وبتكلفة بسيطة نسبيا.أما العيب الأساسي فيها فيكمن في حقيقة أن النموذج الرياضي لا يمكن أن يمثل بشكل دقيق وحقيقي تعقيدات التشتت والتحول الجويين، ولكي يكون النموذج فعالاً، فلابد من إختباره ومقارنة بياناته النموذج ببيانات حقيقية ولفترة معقولة من الزمن.

تقييم جودة التربة و المياه الجوفية
Soil and Groundwater Quality Evaluation

يمكن إعتبار التربة مستقبلاً رئيسياً (حوضاً أو مستودعاً) لنواتج النفايات والمواد الكيميائية المستخدمة في الصناعة الحديثة. ومتى ما اختلطت هذه الملوثات مع التربة، فإنها تصبح جزءاً من الدورة التي تؤثر على أشكال الحياة كلها. وعندما تتلوث التربة فإن تأثير التدهور سوف يتعدى التربة ذاتها. وفي حالات عديدة يمتد الضرر إلى الماء، والهواء، والكائنات الحية. ويدعونا هذا البحث القسم بشكل أساس إلى تقييم جودة التربة والمياه الجوفية. ولفعل هذا، لابدّ لنا من معرفة آليات تلوث التربة والمياه الجوفية.

عندما يصل ملوث ما، مثل المواد الكيميائية العضوية (الهيدروكربونات أو المبيدات الحشرية)، إلى التربة، فإنه يتحرك في إتجاه واحد أو إثنين (إستناداً على تركيبه الكيميائي بشكل جزئي) إذ:(1) قد يتبخر إلى الجو،(2) أو قد يمتص من قبل التربة،(3) أو يتحرك للأسفل عبر التربة ويتسرب منها إلى المياه،(4) أو قد يخضع لتفاعلات كيميائية في السطح أو داخل التربة،(5) أو يمكن أن يتحلل بفعل الكائنات الحية الدقيقة الموجود في التربة،(6) أو يمكن أن ينتهي به المطاف في مياه سطحية، أو كالأنهار، والبحيرات،(7) أو يمكن

أن تتناوله حيوانات أو نباتات التربة محركةً أياه لأعلى السلسة الغذائية.

وقبل أن يستطيع الممارس البيئي أن يقيّم مدى التلوث الأفقي أو الرأسي لنطاقات التربة الملوثة، فلابد له، أو لها، من تفهم المبادئ العامة (آليات) لكيفية انتقال الملوثات. تؤثر نفاذية التربة ولزوجة الملوثات على السرعة التي تتحرك بها الأخيرة عبر التربة. وتعتمد الجاذبية (السبب الرئيسي للحركة الرأسية للملوثات عبر التربة) على حجم الملوث، وعمق مستوى المياه الجوفية، وكثافة ولزوجة الملوثات. لا تصل كل الملوثات عادة إلى مستوى المياه الجوفية. ففي رحلتها نحو الأسفل عبر الترب توقف بشكل طبيعي كلما واجهت طبقة غير منفذة من التربة. كما تتوقف حركتها حيثما تمتص الترب المجاورة الملوث.

إذا أطلق ملوّث معين بشكل مباشر في التربة وبكميات كبيرة بما فيه الكفاية، فإنه سيمتلك فرصةً لا بأس بها للوصول إلى المياه الجوفية، في نهاية المطاف. وعندما يصل ملوث ما إلى المياه الجوفية، فإن حركته تعتمد على الخواص الفيزيائية (الكثافة النوعية والذوبانية) للملوث. وستحدد الكثافة النوعية للملوث مدى حركته عبر التربة، في حين أن الذوبانية ستساعد على تحديد مدى السرعة التي سيتحرك بها عبر المياه الجوفية.

عادة ما نجد الملوثات الأقل كثافة من الماء وذات الذوبانية العالية متحركة بصورة أفقية في الأقسام العليا لمستودع المياه الجوفية. أما الملوثات الأكثر كثافة من الماء والأقل ذوبانية منه فتتحرك بصورة رأسية عبر مستودع المياه الجوفية، وتكون موجودة بتركيز عالٍ في الأعماق.

أخذ عينات التربة و المياه الجوفية
Soil and Ground Water Sampling

هنالك العديد من الأدوات والطرق المتاحة والشائعة في أخذ عينات التربة والمياه الجوفية. أحد أكثر الطرق استخداما للإنسكابات الكبيرة هي الإختبار

الجيوفيزيائي، والذي يشمل إستخدام مقاييس المقاومة والتوصيل (تستطيع هذه الطريقة تقييم موقع بعمق يصل إلى 200 قدم تحت سطح الأرض) لتقييم الطبقات التحت–سطحية، وتحديد موقع مستوى المياه الجوفية، أو رسم خريطة لتضاريس الملوث. يمكن إنجاز هذه المسوحات بسهولة وبسرعة من خلال إجتياز المنطقة المشتبه في تلوثها لتحديد موقع تلك المنطقة وتقييم محيطها الأفقي.

إن الطريقة الأسهل والأكثر استخداماً للحصول على عينات دقيقة من التربة هي من خلال سبرها. وعادة ما يشمل **سبر التربة** (soil boring) إستخدام مسبار خاص. يتكون مسبار التربة الذي يشغل يدوياً من جهاز يشبه سارية العمود، ومقبض على شكل حرف T الإنجليزي ويحتوي عادة على أداة لجمع العينات على شكل برميل متين قطره ثلاثة إنشات في أحد أطرافه. ويُشغل الجهاز بتدوير المقبض ذي الشكل T وتحريك الجهاز رأسياً عبر التربة حتى عمق 10 أقدام تقريباً. يستخدم هذا المسبار عموماً للرمال المبتلة والحصى، والترب الجافة أو الرطبة، وللطفل. ويستخدم المسبار ذو النهاية المفتوحة في الترب الطينية. كما تتوفر مسابير أخرى للإستخدام في الترب الرملية والوحل. والفائدة الأساسية لاستخدام مسبار التربة هي أنه يسمح بتقييم مباشر لعينات التربة المجمّعة من أعماق مختلفة. هذا وتفحص عينات التربة المجمعة بواسطة المسبار لتحديد التلوث بإستخدام العين، أو بإستخدام الأدوات الميدانية أثناء سبر التربة، كما يمكن أن تحفظ عينات التربة وتقيّم لاحقاً في المختبر. وعند الحاجة لأخذ عينات من أعماق أبعد من 10 أقدام، فيستخدم عادة أدوات من نوع المعلقة المشقوقة ومثبتة على آلة حفّارة.

ويمكن أخذ عينات التربة، بطريقة أكثر سهولة وذلك، بإستخدام المجرفة، أو المسحاة، أو المغرفة. وتستخدم طريقة **المجرفة (shovel)، والمسحاة**

(**spade**)، **والمغرفة** (**scoop**) بشكل طبيعي في الحفريات الضحلة. تشق المجرفة سطح التربة (التربة السطحية) إلى العمق المطلوب. في حين تستخدم مسحاة العشب العادية لإزالة التربة. وبعد إزالة التربة السطحية، تستخدم مغرفة فولاذية لجمع العينة بغرض التحليل الميداني أو المعملي.

وفي حالة إنسكاب كمية كبيرة من الملوث، نستخدم التخندق والحفر. يتضمن **التخندق** و **الحفر** (trenching and excavation) إستخدام ماكينات كبيرة لتجريف الأرض وإزالة طبقات كبيرة من التربة. والفائدة الواضحة لهذه العملية هي أنها تسمح بملاحظة مباشرة لظروف الموقع المحدد وبالتحليل الميداني والمعملي.

في العادة، يجرى سبر التربة حينما يمكن للبيانات الناتجة أن تقدم خلاصات حول الهجرة المحتملة للملوثات إلى موقع معين. وفي بعض الأحيان، تفضل مراقبة المياه الجوفية من خلال تثبيت آبار المراقبة على سبر التربة بشكل عشوائي، وذلك لأن تشخيص جودة المياه الجوفية بطريقة اقتصادية هو الهدف الرئيسي لعدد من التحقيقات. تثبت بعدئذٍ آبار مراقبة المياه الجوفية بعد أن يتم التُعرّف إلى المنطقة الملوثة. وتوفر هذه الآبار وسيلة وصول إلى المياه الجوفية لأغراض الاعتيان. بعد ذلك، تفحص العينات لغرض العثور على الملوث المذاب والناتج الحر.

تتوفر العديد من طرق الحفر لبناء الآبار، وعادة ما يطبق تصميم قاعدة "واحد فوق، وثلاثة تحت" في بنائها. وتتكون هذه الطريقة من بئر منصب في عكس (فوق) إتجاه جريان الانسكاب وثلاثة آبار في إتجاه (تحت) جريانه. يزودنا البئر الفوقي بمعلومات عن المياه الجوفية غير المتأثرة بالتلوث الناتج من الإنسكاب. في حين تنصب الآبار التحتية في أماكن إستراتيجية بحيث تعترض أي نفايات متحركة من منطقة الإنسكاب.

وبعد نصب آبار المراقبة، تجمع عينات المياه الجوفية من أجل تحليلها معملياً وذلك لتأكيد نوع الملوث وتركيز الملوثات المذابة في المياه الجوفية.

التحليل المعملي
Laboratory Analysis

من أجل التحديد الدقيق لنطاق وتراكيز الملوث في موقع إنسكاب معين لابد من أخذ العينات وإرسالها لمعمل بيئي للتحليل. يجب أن تجرى التحليلات المعملية في مختبر تحليلي مُجاز، يستخدم بروتوكولات مجازة من قبل الوكالة الأمريكية لحماية البيئة إلى جانب معايير ضبط الجودة. تخضع كل عينات المياه الجوفية لتحليل الأس الهيدروجيني، وتركيز الأبخرة العضوية، والتوصيلية (Conductivity). كما يمكن إختيار معايير إضافية استناداً إلى نتائج التحقيقات اللاحقة والمتطلبات القانونية.

ملخص الفصل
Chapter Summary

تعد التقنيات الأساسية لأخذ العينات من الهواء، والتربة، والمياه بسيطة نسبياً. وتعلم هذه التقنيات لا يعد مشكلة – ولكن عليك أن تكون قادراً على جمع العينات من مواقعها بشكل ملائم ميدانياً. يتطلب أخذ العينات وتحليلها ممارسة – وخبرة عملية في استخدام أدوات العالم البيئي المتاحة.

أسئلة المناقشة و المشكلات
Discussion Questions and Problems

10- ما هي الأدوات التي ستضيفها إلى صندوق أدوات الممارس البيئي؟

11- ما هي العوامل التي تؤثر على جودة العينات المأخوذة في الحقل ؟

12- صف بإيجاز بعض المشاكل المتعلقة بأخذ العينات من الهواء، والمياه، والتربة.

13- قارن وبَيِّن الفرق بين أخذ العينات يدوياً مقابل أخذها آلياً.

14- اشرح ممارسة الإختبار الجيوفيزيائي.

مواضيع مقترحة للبحث و المشاريع
Suggested Research Topics And Projects

- ضع خطة أخذ عينات كاملة لموقع محدد.
- حلل متطلبات قانون نظام التخلص من الملوثات المطلقة الوطني واللائحة التنظيمية 503 لوكالة حماية البيئة الأمريكية في ما يتعلق بأخذ العينات. وما هي الإجراءات العامة والخاصة التي تشترطها هذه القوانين.
- إجرِ بحثاً عن/و أصنع نموذجاً رياضياً لأخذ العينات من الهواء.
- قيّم التربة في منطقة محددة مستخدماً الاختبار الجيوفيزيائي.
- إجرِ بحثاً عن الوسائل والطرق الأخرى لأخذ العينات المستخدمة في تقييم الهواء، والمياه، والتربة.

قراءات مقترحة

Suggested Readings

American Conference of Governmental Industrial Hygienists. *Air Sampling for Evaluation of Atmospheric Contaminants.* 8th ed. Cincinnati, Ohio: ACGIH, 1995.

Black, H. H. "Procedure for Sampling and Measuring Industrial Wastes." *Sewage & Industrial Wastes* 24 (January 1952): 45–65.

Boulding, J. R. *Description and Sampling of Contaminated Soils: A Field Guide.* 2nd ed. Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers, 1994.

Cahill, L., and R. Kane. *Environmental Audits.* 6th ed. Rockville, Md.: Government Institutes, 1989.

Handbook for Sampling & Sample Preservation of Water and Wastewater. Springfield, Va.: U.S. Department of Commerce, 1982.

Metcalf & Eddy, Inc. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse.* 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1991.

The NALCO Water Handbook. 2nd ed. Ed. F. N. Kemmer. New York: McGraw-Hill, 1988.

Pasquill, F., and F. B. Smith. *Atmospheric Diffusion.* New York: Ellis Horwood, 1990.

Tan, K. H. *Environmental Soil Science.* New York: Marcel Decker, Inc., 1994.

Testa, S. M. *The Reuse & Recycling of Contaminated Soil.* Boca Raton, Fla.: CRC/Lewis Publishers, 1997.

Testa, S. M., and D. Patton. "Don't Dig Clean Soils—Selective Excavation Can Cut Project Costs." *Soils* (December 1993): 31–33.

Turner, D. B. "Atmospheric Dispersion Modeling: A Critical Review." *JAPCA* 29 (1979): 502–19.

U.S. Bureau of Reclamation. *Water Measurement Manual.* Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1967, 16.

الفصل الثامن

البيئة والتقانة

Technology and the Environment

بتقويمنا الحالي، اليوم هو26 يونيومن 15,543 قبل الميلاد. والمكان هو كهف طبيعي كبير موجود في عمق بروز صلب كان ذات مرة مرجاً جبليا بارزاً قبل أن تحفر فيه صفائح العصر الجليدي الأخير، وتنخر الأرض، ثم تطحنها إلى شكلها وحجمها الراهن.

صفيحة الجليد العملاقة الآن في حالة تراجع. فعندما كانت في عنفوان عرضها، وعمقها، وطولها، إمتدت لعدة مئات من الأميال بعد موقع الكهف إلى وادٍ بشكل حرف V، حيث غذت الثلوج الذائبة، نهراً شاباً، مندفعاً يجري عبر قاع الوادي.

يجري مجرى صغير من المياه الذائبة في ما يقارب الخط المستقيم بمحاذاة أحد جوانب الكهف، في طريقه نحو الوادي حيث يلتحق بالنهر ويغذيه.

وعلى الجانب الآخر هناك حقل مائل من الأعشاب الغضة، والشجيرات، والأزهار – نعم أزهار في كل مكان. وإذا نظرنا إلى أعلى سنجد بقايا واضحة من الركام الأخير الذي كوّن هذا المنحدر الحاد بغطائه الجديد من الأعشاب والأزهار المتفتحة. وتُظهرُ نظرة أقرب كومة داكنة في قاع المنحدر – كومة من الأوساخ، جلود، وعصب، وعظام، وجثث متحللة، وبقايا محترقة من مآدب، ورحلات الصيد السابقة. نعرف جيداً القاذورات، والفضلات والمهملات التي يتركها الناس وراءهم وكأنها بصمات عفنة تشير إلى وجودهم. كان شخص واحد وربما مجموعة من الأشخاص سكنوا سوياً. أين ؟ في الكهف – بالطبع.

دعنا نلقي نظرة إلى الداخل.

نتحوّل لأعلى حيث توجد فتحة كبيرة في الصخور تمثل مدخل الكهف. نخطوبحذر – فنحن لا نريد أن نزعج (نجفل، ونخيف، ونغضب) سكان

الكهف. تذكر، نحن نتكلم عن رجال كهف هنا. ليس ثمة لغة مشتركة. لا ثقافة مشتركة. هل يمكن أن يكون لنا أي مشترك مع هؤلاء... القوم البدائيين؟

ولكن الهدوء مخيم – وفي عدم وجود خطر ماثل، يتغلب فضولنا على حذرنا، ونمشي نحوحجرة المدخل. يمسك شيء ما بتلابيبنا – ليس رجل كهف، بل رائحة العفونة – نتنة جداً. نُطبق بأصابعنا على أنوفنا، بحيث نكاد نسحقها، ثم تستمر بالتقدم، فقد أصبحنا متشوقين جداً، برغم الرائحة النتنة، أن لا نتراجع.

يمكن أن نرى بوضوح في هذه الحجرة، وذلك المكان أن ضوء النهار قد انهمر إليها من الفتحة. نأخذ خطوات قليلة ثم نتوقف لنلقي نظرة، ونحن حريصون على أن لا نتنفس بأنوفنا. تغطت جدران الكهف بسناج أسود. توجد حفرة إلى يمين الكهف يهاجمها ملايين من حشرة الذباب والحشرات الأخرى، وهي سبب معظم العفونة. في حين تكفلت كومة من الفتات شبيهة بكومة الأوساخ التي في الخارج في بقية الرائحة النتنة.عرفنا أن الكهف مهجور. لم يكن لدينا شك في سبب ذلك. فقد أصبحت الغلبة لأكبر ناتج ثانوي للبشر – أصبح الكهف مكباً للقمامة.

ربما، يوجد في الحجرات الأخرى، في عمق الكهف، رسوم وبقايا طقوس. ولكننا لا نمتلك الأدوات اللازمة لإستكشافها اليوم. لذا نتراجع، ونحن ممتنون لأي نسمة من الهواء الطلق.

وفي الخارج، وعلى بعد بضع مئات من الأقدام من هذا الكهف النتن، وعلى مرأى منّا كومة القمامة، نتوقف لنتأمل ما رأيناه. وبعد خمس عشرة ألف سنة من الآن سيجد علماء الآثار هذا الكهف، ويستكشفونه، وسيعرفون معلومات تعطينا فكرة عن عالم أولئك الناس الذين زرنا منزلهم للتو. ولكن البقايا التي سيجدها علماء الآثار ستكون قد تغيرت بفعل 15000 سنة من التاريخ .

وستكون الصورة التي يرونها غير مكتملة، متبعثرة بسبب المداخلات الطبيعية التي تسببها الحياة، مما يسبغ الأسرار على الحياة القصيرة والهمجية لأسلافنا.

ولكن هنا، الآن، يمكن أن نرى أوجه الشبه. فنحن نفسد بيئتنا بالطرق نفسها، وبأكثر منها. ولكن كان لرجل الكهف ميزة كبيرة على الإنسان الحديث، في هذا الخصوص. فقد كان رجل الكهف، حين يصبح مسكنه نتنا جداً ولا يطاق، يلتقط أيما شيء إعتبره ذا قيمة يستطيع هو وقبيلته حمله، وينتقل إلى مكان آخر. فقد كانت الأماكن الجديدة دائما متاحة في أقرب منعطف للنهر. والتلوث الذي سببه سيتحلل بطريقة حيوية (في النهاية) وبشكل كامل وطبيعي – وفي سنوات قليلة، سيستطيع هذا الكهف إستضافة البشر من جديد.

ورغم أن لدينا تشابهات مع أسلافنا القدماء، إلا أن هنالك فرق بيننا: فالرجل الحديث لا يقوى أن يلوث ويدمر بيئته من غير عواقب. ولم يعد بوسعنا أن نحمل متاعنا ونرحل. وما نفعله ببيئتنا لديه تشعبات على مقياس لا نستطيع تجاهله – أوتفاديه.

أهداف الفصل

Chapter Objectives

بعد دراسة هذا الفصل ينبغي أن تكون قادراً على أن:

- تَتَعرّف على، وتَصف، وتناقش الطرق الرئيسية التي أثرت بها التقانة على هوائنا، ومائنا، وتربتنا.
- تُقارن وتَبيّن الفرق بين المصادر الساكنة والمتحركة لتلوّث الهواء والسموم التي تنتجها.
- تَتَعرّف على، وتُعرّف، وتَصف، وتُناقش أهمية الأوزون في التروبوسفير، والمشاكل المتعلقة بالأوزون في الغلاف الجوي.
- تُعرّف، وتَصف، وتناقش ثاني أوكسيد الكبريت وعلاقته بمشاكل، وتأثير، وأهمية الترسيب الحمضي.
- تَتَعرّف على مصادر الرصاص، والمواد الكيميائية المنقولة

بواسطة الهواء، والمادة الحبيبية المنقولة بواسطة الهواء، وتناقش المشاكل المتعلقة بها وآثارها الصحية الضارة.

- تعرّف، وتَصف، وتناقش الطلب الكيميائي الحيوي على الأوكسجين، والنفايات المحتاجة للأوكسجين.
- تَتَعرف على مصادر وتناقش الآثار الضارة للمشاكل المتعلقة بالعوامل الممرضة المنقولة بواسطة الماء، والمواد السامة والخطرة، والترسبات.
- تَصف، وتناقش المشاكل المتعلقة بمجتمعات المحار، والنيتروجين، والرسوبيات في خليج جيسبيك.
- تُعرف، وتَصف، وتناقش العوامل والمشاكل المتعلقة بالتلوّث الحراري، وبمغذيات النبات في إمدادات المياه، والمواد الدائمة والمشعة في أنظمتنا المائية.
- تَتَعرِّف على، وتعرّف، وتناقش الملوّثات الرئيسية للتربة.
- تناقش، وتَصف دور صناعة البترول ونفايات البترول الهيدركربونية في تلوّث التربة.

خطة الفصل

Chapter Outline

- مناقشة:التقانة وعواقبها وتأثيرها على البيئة.
- مناقشة:الملوّثات الطبيعية والتقانة، والتي تؤثر على جودة الهواء، والمصادر والمخاطر الصحية المتعلقة بها.
- مناقشة وتعريف: جودة الهواء وتأثيرات أول أوكسيد الكربون، والأوزون، وثاني أوكسيد الكبريت، والرصاص.
- مناقشة وتعريف: جودة الهواء وتأثيرات المواد الكيميائية

السامة، والمادة الحبيبية المنقولة بواسطة الهواء، والرسوبيات الحمضية.

- مناقشة:الملوّثات الطبيعية والصناعية التي تؤثر على جودة المياه، والمصادر والمخاطر الصحية المتعلقة بها، والتعقيدات التي تنشأ من الطبيعة المعقدة لنظامنا المائي.
- مناقشة وتعريف: جودة المياه والتأثيرات ذات الصلة بالنفايات المحتاجة للأوكسجين، والنفايات الممرضة، والمواد السامة والخطرة، والرسوبيات.
- مناقشة وتعريف: المشاكل البيئية في خليج جيسبيك.
- مناقشة وتعريف: جودة المياه والتأثيرات ذات الصلة بالتلوّث الحراري، ومغذيات النباتات، والمواد الدائمة، والمصادر والمخاطر الصحية المرتبطة بها.
- مناقشة وتعريف: جودة التربة والتأثيرات المتعلقة بالتخلص من النفايات، والنفايات الخطرة، والهيدركربونات البترولية وصناعة البترول، وتحويل الفحم إلى غازات، والتعدين.

المصطلحات الرئيسية Key Terms

المطر الحمضي	acid rain	المواد الدائمة	persistant substance
الترسب الحمضي	acid deposition	المواد المشعة	radioactive substance
المادة الحبيبية المنقولة بواسطة الهواء	airborne particulate matter	الرسوبيات	sediments

المصادر البشرية	anthrapogenic sources	شراب العلف شبه المتخمر	silage liquor
الطلب الحيوي عل الأوكسجين	biological oxygen demand (BOD)	الضبخان	smog
عملية تحويل الفحم إلى غاز	coal gasification process	المصادر الثابتة	stationary sources
التحلل	decomposition	الستراتوسفير	stratosphere
الأوكسجين المذاب	dissolved oxygen	الضخاب الكبريتي	sulfurous smog
الطاقة الحرارية الأرضية	geothermal power	نفايات	tailings
المياه الجوفية	groundwater	التلوث الحراري	thermal pollution
الراشح	leachate	المواد الخطرة أوالسامة	toxic or hazardous substance
نفايات التعدين	mining waste	التروبوسفير	troposphere
المصادر المتحركة	mobile sources	المواد الممرضة المنقولة بواسطة الماء	waterborne pathogens
التحريك	mobilization		

مقدمة

Introduction

كان لإنسان عصور ما قبل التاريخ بعض العادات السيئة المتعلقة بإساءة استخدام البيئة والتي لا زلنا نحافظ عليها اليوم. ومع ذلك، تمتع رجل الكهف

بميزة على الرجل الحديث: فعندما لوّث بشر ما قبل التريخ بيئتهم (كهوفهم في الأغلب)، كان الضرر محلياً ومحدود الأثر. كان بمقدور رجل ما قبل التاريخ، ببساطة، أن يحمل متاعه، وينتقل إلى كهف آخر. كانت إساءة إستخدام البيئة من قبل رجل ما قبل التاريخ قليلة الأثر، وعلى مستوى صغير وذلك لسببين: أن الأرض كانت تدعم أعداداً قليلة من السكان البشر، كما أن التقانة لم تكن قد فاقت بعد حدود أبعد من استخدام النار للطهو/ والتسخين والتصنيع اليدوي لقلة من أدوات الصيد، والقنص.

أما التقانة المستخدمة اليوم فإنها كانت لتصيب رجل ما قبل التاريخ بالرعب، وتدفعه للبحث عن ملجأ في أعماق كهفه. إننا نأخذ تطورات التقانة بشكل مسّلم به، تلك التطورات التي أعطتنا إمكانية تدمير الحياة على الأرض كما نعرفها اليوم. وملكتنا القدرة المزمنة على تدمير كل أشكال الحياة (بشكل تدريجي مثل السرطان) عبر العديد من ممارستنا الملوّثة للبيئة.

ما الذي سمحت لنا التطورات التقانة بفعله ؟ العديد من الأشياء. بإستطاعتنا (ونحن نفعل ذلك) أن نقطع بشكل كلي غابات كاملة في فترة قصيرة. بإستطاعتنا (ونحن نفعل ذلك) أن ننفث ملايين الأطنان من الملوّثات في الجو. باستطاعتنا (ونحن نفعل ذلك) أن نسكب تدفقات لا حد لها من النفايات السامة في محيطاتنا، وأنهارنا، ومجارينا المائية، وبحيراتنا. باستطاعتنا (ونحن نفعل ذلك) أن ننحت حفراً عملاقة في تربتنا ونرمي فيها كميات مهولة من النفايات. وبسبب هذه التطورات العظيمة في التقانة، فقد أصبح بمقدورنا أن نغير من شكل الأرض، حرفياً، ومن جودة الهواء الذي نتنفسه، ومن جودة الماء الذي نشربه، ومن جودة التربة التي يعتمد عليها قوام حياتنا كلها. باستطاعتنا فعل كل هذه الأشياء – ونحن نفعل ذلك.

أخذت نتائج التقدم التقاني البشري من "أسلوب حياة" الكهوف إلى الكماليات التي يتوقع معظم الناس في المجتمعات الحديثة أن يحظوا بها. ولكن، مع هذه

التغييرات تأتي دائماً المقايضات وقت دفع الحساب. يتساءل بعض الناس إذا ما كانت هذه التطورات التكنولوجية مفيدة لنا على المدى الطويل، أومضرة.

ربما تكون المشكلة متعلقة بالعلم والتقانة. فقبل عدة سنين مضت، أصبحت المعرفة الزائدة بالعلوم الطبيعية والقدرة على وضع هذه المعرفة موضع التنفيذ أمراً يلام عليه على أنه سبب حدوث المشاكل البيئية، والآن غدت مثل هذه التصريحات أمرا عادياً. ينادي الملتزمون بحركة "العودة للطبيعة" برفض التقانة – في ذات الوقت الذي يستخدمون فيه بكثافة ثمار هذه التقانة التي يرفضون: وبالتقريب فإن أي شيئ يشترونه، والملابس التي يلبسونها، والطعام الذي يأكلونه، والأدوات التي يستخدمونها، والمساكن التي يعيشون فيها، وحتى النقود التي يحصلون عليها من وظائفهم، هي نتائج طبيعية للتقانة.

تذكر أن أولئك الذين يلومون التقانة على المشاكل البيئية ينسون أن الأناس الذين نبهونا مبكراً للأزمة البيئية أمثال، ريشيل كارسون (Rachel Carson) في كتابها "الربيع الصامت"، وألدوليوبولد (Aldo Leopold) في كتابه "روزنامة بلد الرمل"، وباري كومونر (Barry Commoner) في كتابه "الدائرة المغلقة"، كانوا علماء. فتحت معرفتهم، ومهاراتهم، وبصيرتهم، واستخدامهم للملاحظة العلمية أعيننا على المشاكل البيئية. ويعني ذلك أن معرفتنا بالتقانة (الطبيعة والعلم) هي بالضبط ما نبهنا للمخاطر التي يمثلها التدهور البيئي (بيرس وآخرون 1998).

لا ينبغي وصم كل التقانة بالسوء – فقلة من الناس تجادل أن التقدم التقاني في الطب، والزراعة، والتنبؤ بالطقس، والعديد من المجالات الأخرى كله أمر سيئ. للتقنية جانب إيجابي: فهي يمكن أن تُسَخَر لمصلحة البشر. يمكننا فقط أن نأمل أن تشهد السنون القادمة تسخير التقانة من أجل فائدة البشر – لجعل حياتنا أفضل، وللحفاظ على بيئتنا ولحمياتها في نفس الوقت.

سنناقش في هذا الفصل، بإيجاز التقانة وتأثيرها على بيئتنا على هوائنا،

ومياهنا، وجودة تربتنا. ولاحقاً، وفي الفصل الخاص بالأوساط، سنناقش كيف يمكن أن تستخدم التقانة لتحييد الآثار الضارة (لاسيما الآثار البشرية على البيئة). سنشدد على الجانب الإيجابي، وكيف يمكن أن تستخدم التقانة المتقدمة بشكل صديق للبيئة.

تأثير التقانة على جودة الهواء
The Impact of Technology on Air Quality

حينما يثور بركان ما وينفث ملايين الأطنان من الرماد في الجو، أو حينما تصيب صاعقة غابة كبيرة وتضرم فيها ناراً صغيرة سرعان ما تتحول إلى رقعة منتشرة من الموت والدمار، منتجة ونافثة ملايين الأطنان من الدخان، والرماد، والخبث في الجو، أو حينما، وعلى مستوى محلي، يحترق أحد منازل الجيران فيلوث الدخان والرماد منطقتك المحلية، حينئذ لن تكون لديك مشكلة في فهم ما يعنيه تلوّث الجو. فهو موجود في اللحظة التي تضطر فيها إلى استنشاق هواء يجعلك تسعل، ويجعلك تمرض، هواء ذو طعم كريه، ورائحة كريهة، يملأ رئتيك بمادة سوداء كريهة هذا هو الهواء الملوّث.

إن منتجات ملوثات الهواء الطبيعية أوتلك التي يصنعها البشر هي، وإن لم تكن شائعة، فهي معروفة جيداً. ولكن، هناك العديد من الأحداث الأخرى معظمها من صنع البشر، تفاعلات كيميائية، وماكينات – تلوّث هوائنا أيضا –الهواء الذي نضطر كلنا إلى تنفسه.

وبالنسبة للتأثير على البيئة، فقد خطونا خطوات عملاقة ابتداء من نيران سكان كهوف ما قبل التاريخ ودخانها إلى سحب دخان يصل طولها إلى 380 مترا تنبعث من مصاهر النحاس الحديثة ومصانع توليد القدرة. إن هذه الخطوة العملاقة إلى الأمام هي نتيجة التقدم التقاني الذي تطور ببطء من حوالي عام 4000 قبل الميلاد إلى النسق السريع، والمذهل، والمتصاعد للأزمنة الحديثة.

يمثّل تلوّث الهواء أحد أعظم المخاطر المحدقة بصحتنا وبيئتنا. يأتي معظم الماء الذي نشربه نقياً ونظيفاً (بسبب التقانة) من الصنابير في منازلنا، أوقد نختار شراء مياه معلبة. ويأتي معظم الطعام الذي نأكله جاهزاً للطبخ، ومعبأً في عبوات بلاستيكية في السوبرماركت، ويمكن أن ندفع أموالاً إضافية لنشتري المنتجات المزروعة بطريقة عضوية، إذا رغبنا. ولكنا مجبرون على تنفس الهواء الذي يحيط بنا بشكل دائم. إن المشاكل التي تنتج أو تتفاقم بسبب تلوّث الهواء هي مشاكل ممتدة، وتشمل أمراض الرئة (السرطان، والتهاب الشعب الهوائية، وتوسع الحويصلات الرئوية) والأمراض الأخرى (تهيج العين، والربو الشعبي، والأمراض العصبية). وتتراوح المشاكل البيئية من تدمير الغطاء النباتي والمحاصيل الحقلية وحتى زيادة حموضة البحار والبحيرات والبرك ما يجعلها غير صالحة للحياة بالنسبة للكائنات الحية المائية.

وكما تعرف، فإن التلوّث غير محصور على أفعال البشر (المصادر البشرية) بل ينتج أيضاً من الظواهر الطبيعية – الثورات البركانية، والصواعق، والزلازل، وغيرها. ولكننا، سنركز هنا على المصادر البشرية لملوثات الهواء. فالإنسان ليس لديه أي تحكم – ولا يستطيع أن يتنبأ بدقة – بالزمن الذي سوف تحدث فيه الكوارث الطبيعية. لذا ينبغي أن نهتم بمصادر التلوّث المرتبطة بالتقدم العلمي. يمكن تصنيف هذه المصادر إلى مجموعتين: مصادر ثابتة وأخرى متحركة.

تتسبب **المصادر المتحركة (mobile sources)** لتلوّث الهواء في حوالي 50% من تلوّث الهواء المنتج في الولايات المتحدة. وتشمل المصادر المتحركة للتلوّث – الطيارات، والقوارب، والشاحنات، والقطارات، والمركبات السفرية وغيرها. تحتوي أبخرة عوادم هذه المصادر على أول أوكسيد الكربون، والمركبات العضوية المتطايرة، وأوكسيد النيتروجين، والرصاص، والمادة

الحبيبية. وتساهم المركبات العضوية المتطايرة، وأوكسيد النيتروجين في تكوين الضبخان.

أما المصادر الساكنة (stationary sources) لتلوّث الهواء فهي تلك المصادر الناتجة من أي نقطة ثابتة أوساكنة. تتراوح هذه المصادر من منشآت المعالجة الكيميائية الكبيرة إلى محطات الغاز المجاورة ومحلات الغسيل الجاف. ويشمل بعض المصادر الشائعة لمثل هذا النوع من الملوثات منشآت الطاقة، والطابعات، ومنشآت الفولاذ، ومنشآت فحم الكوك.. الخ.

تولد المصادر الساكنة ملوثات الهواء بشكل رئيسي عن طريق حرق الوقود من أجل الطاقة، وبدرجة أقل، كنواتج ثانوية للعمليات التصنيعية. تعد المصانع، والمرافق، والمباني السكنية والتجارية التي تقوم بحرق النفط، والأخشاب، والفحم، والغاز الطبيعي، والأنواع الأخرى من الوقود مصادر رئيسية للملوثات من نوع ثاني أوكسيد الكبريت، وأكاسيد النيتروجين، وأول أوكسيد الكربون، والمركبات العضوية المتطايرة، والرصاص، والمادة الحبيبية.

تنتج ملوثات الهواء السامة أيضاً من تشكيلة متنوعة من العمليات التصنيعية والصناعية. من منشآت التخلص من النفايات الخطرة، والمرمّدات البلدية، والمرافق، ومطامر النفايات، كما أن نفط الوقود الملوث بالمواد الخطرة هوأحد مصادر محتملة لتلوّث الهواء بالسموم.

إن الملوثات الرئيسية الناتجة من المصادر المتحركة والساكنة هي أول أوكسيد الكربون، والأوزون، والرصاص، وسموم الهواء، والحبيبات المنقولة بواسطة الهواء، والترسيب الحمضي. سنقدم وصفاً موجزاً لهذه الملوثات الرئيسية في الأقسام القادمة. وسنناقش التطورات التقانة التي تستخدم في تخفيف آثار هذه الملوثات وذلك في الأجزاء التي تتناول أي وسط بيئي محدد – الهواء، والماء، والتربة.

أول أوكسيد الكربون

Carbon Monoxide

أول أوكسيد الكربون (CO) هوناتج لا لون، ولا رائحة، ولا طعم له من عمليات الاحتراق غير الكامل للوقود الأحفوري والكتل الحيوية. ورغم أن أول أوكسيد الكربون ينتج أساساً من مصادر طبيعية، فإن كميات كبيرة منه تنتج من مصادر بشرية. وعند إستنشاقه، فإنه يحل محل الأوكسجين في مجرى الدم ويمكنه أن يضعف مستوى الوعي (وردود الأفعال)، والبصر، والقدرات الجسدية والعقلية. ويمكن لاستنشاق أول أوكسيد الكربون أن يتسبب في آثار صحية خطيرة لأولئك الذين يعانون من أمراض قلبية ورئوية.

إذا حاولت تحديد أعلي تركيز لأول أوكسيد الكربون في أي زمن محدد وفي أي جزء معين من البلد (الولايات المتحدة الأمريكية)، فما عليك سوى أن تجد منطقة ذات تركيز عالٍ من البشر والمركبات الآلية. تعد المركبات الآلية المصدر الرئيسي لأول أوكسيد الكربون، خصوصاً عندما تحرق محركاتها الوقود بصورة غير فعالة. وتعد العمليات التصنيعية، والمرمدات، والأفران الخشبية مصادر أخرى لأول أوكسيد الكربون.

الأوزون

Ozone

الأوزون هو واحد من الأشكال التي يوجد فيها الأوكسجين، إلا أنه يمتلك مجموعة من الصفات الفيزيائية والكيميائية تختلف بشكل كبير عن خواص الشكل "الطبيعي" للأوكسجين. يمتلك الأوزون ثلاثة ذرات من الأوكسجين بدلاً من أثنين في الجزيء الواحد، ولذا تكتب صيغته الكيميائية بالصورة الآتية O_3.
يوجد الأوزون في درجة حرارة الغرفة على شكل غاز ذي لون أزرق شاحب

وذي رائحة لاذعة. وهو أثقل (وأكثر كثافة) من الأوكسجين (تبلغ كثافة بخاره 1.7) كما أنه أكثر ذوبانية في الماء من الأوكسجين بشكل كبير. يعتبر الأوزون غازاً خطراً، بشكل خاص، لسببين: كونه شديد التفاعل، وشديد السمية.

سمع معظم الناس بالأوزون كطبقة واقية في طبقة الستراتوسفير (والتي تمتد الى ما يقارب 7 إلى 30 ميلاً فوق سطح الأرض) والتي تعمل كدرع واق، يمنع (عن طرق الإمتصاص) كميات مؤذية من الأشعة فوق البنفسجية من اختراق طبقة التروبوسفير (وهي الطبقة السفلى من الغلاف الجوي والتي تمتد حوالي 7 أميال فوق سطح الأرض) ووصولها إلى سطح الأرض.

ورغم فوائد الأوزون في الطبقات العليا للغلاف الجوي، إلا أن وجوده في الطبقات السفلى من الغلاف الجوي هو أحد أكثر المشاكل البيئية شيوعاً: كما يمكن أن يكون خطراً، ومسمماً لمعظم الكائنات الحية.إن ما يشغلنا هو وجود الأوزون في الطبقات السفلى من الغلاف الجوي.

ينتج الأوزون بشكل طبيعي في الغلاف الجوي عندما يحفز ضوء الشمس التفاعل الكيميائي بين الغازات الجوية والملوثات مثل المركبات العضوية المتطايرة وأكاسيد النيتروجين. وتعد محركات الإحتراق الداخلي للمركبات الآلية، والشاحنات، والأنواع الأخرى من المركبات الآلية المصدر الرئيسي للمركبات العضوية المتطايرة. وخلال إزدحام المرور الشديد، تكون مستويات الأوزون في أعلى مستوى لها، وذلك لان كميات كبيرة من أكاسيد النيتروجين والمركبات العضوية المتطايرة يتم إنتاجها.

ترتبط إثنتان من مشاكل الأوزون بالتقدم التقاني. أولاً، يخل الإنتاج الزائد للأوزون، من خلال الانبعاثات الناتجة من الأنشطة البشرية، بالتوازن الطبيعي لتفاعلات الأوزون في طبقة الستراتوسفير، مما يقلل بالتالي من تركيزه. ولان أوزون طبقة الستراتوسفير يمتص معظم الإشعاعات فوق البنفسجية القادمة من الشمس، فهو يعمل كدرع مضاد لهذه الأشعة، ويحمي الكائنات الحية على

سطح الأرض. ويسبب نقص تركيز الأوزون في مناطق الستراتوسفير تعرية هذه الطبقة الواقية، ونفاذ الأشعة فوق البنفسجية إلى جو الأرض القريب.

والمشكلة الثانية مع الأوزون تحدث في حالتين. فالإضطراب في الطبقات العليا من الغلاف الجوي يتسبب في بعض الأحيان في دخول أوزون الستراتوسفير إلى التروبوسفير. وفي هذه الحالات النادرة، يدخل الأوزون لفترات قصيرة فقط. ولكن في هذه المناسبات، تحدث تفاعلات ضوئية كيميائية داخلية في الطبقات السفلى من التروبوسفير – وهي سبب رئيسي للمؤكسدات في ضباب لوس أنجلس.

ثاني أوكسيد الكبريت
Sulfur Dioxide

ثاني أوكسيد الكبريت (SO_2) هو غاز عديم اللون يمتلك رائحة حادة، ونفاذة مثل رائحة المطاط المحروق. يأتي ناتج الاحتراق هذا، من حرق المواد المحتوية على الكبريت (الفحم، وأنواع الوقود الأحفوري الأخرى، على سبيل المثال)، من مصادر تشمل مصافي النفط، ومصانع الورق والورق المقوى، ومنشآت الفولاذ والمنشآت الكيميائية، والمصاهر، ومنشآت الطاقة المرتبطة بإنتاج النفط والغاز. وتتأثر الأحياء السكنية مباشرة بثاني أوكسيد الكبريت المنبعث من الأفران المنزلية وأفران حرق الأخشاب. يعد ثاني أوكسيد الكبريت ملوث هواء شائع الوجود قرب المناطق الصناعية. وترتبط المستويات الزائدة لثاني أوكسيد الكبريت في الهواء المحيط بزيادة ملحوظة في الأمراض الصدرية الحادة.

وعند انبعاثه في الغلاف الجوي، يمكن لثاني أوكسيد الكبريت أن ينتقل لمسافات بعيدة وذلك لأنه يرتبط مع حبيبات الغبار أوالهباء الجوي. وبمرور الوقت، يتأكسد ثاني أوكسيد الكبريت إلى ثلاثي أوكسيد الكبريت، الذي يذوب في بخار ماء الغلاف الجوي، مكوناً حمض الكبريتيك الحارق. وفي المناطق

ذات الصناعات الكثيفة، تنشأ مشكلتان بيئتان :المطر الحمضي، والضبخان الكبريتي.

المطر الحمضي (acid rain) (وكما يوحي به الإسم، وإن كان بطريقة غير دقيقة) هو مطر ملوث بحبيبات حمض الكبريتيك الذائبة. يمثل المطر الحمضي خطراً على البيئة وذلك بسبب الضرر الذي تسببه للحياة المائية عند سقوطه على بحيرات المياه العذبة.أما المشكلة الثانية فهي،الضبخان الحمضي، وهو الضباب الذي ينشأ في الغلاف الجوي عندما تتراكم حبيبات حمض الكبريتيك، وتنمو في الحجم حتى تصبح كبيرة بما يكفي لتشتيت الضوء.

الرصاص
Lead

الرصاص هوأحد المعادن الثقيلة التي تسبب إعتلالا جسدياً وعقلياً خطيراً. والأطفال بشكل خاص هم أكثر عرضة لتأثير المستويات العالية من الرصاص. تشمل المصادر الساكنة للرصاص المصاهر غير الحديدية، ومصانع البطاريات، ولكن مستوى انبعاثات الرصاص يتم تخفيضها بشكل كبير عبر لوائح الوكالة الأمريكية لحماية البيئة. كانت المركبات الآلية مساهماً كبيراً في التلوّث بالرصاص، خصوصاً في المناطق ذات الكثافة السكانية العالية. وحتى سبعينيات القرن العشرين، كان رباعي إيثيل الرصاص أحد مكوّنات الجازولين الوفيره الذي يتحول. وعند احتراقه (في محركات الإحتراق الداخلي) إلى أوكسيد الرصاص. تنفث كميات قليلة من أوكسيد الرصاص كجزء من مكونات أبخرة عوادم المركبات، ومن ثم تستنشق أوتستهلك، بشكل مباشر أوغير مباشر.

حثت الآثار الصحية الضارة للتعرض الزائد للرصاص، الوكالة الأمريكية لحماية البيئة أن تتخذ خطوات لتقليل محتوى الرصاص في الجازولين بصورة

تدريجيه. وبالإضافة إلى التقليل التدريجي للرصاص في الجازولين، أصدرت الوكالة برنامجاً لضبط الانبعاثات من المركبات الآلية في عام 1975 والذي يقضي باستخدام الجازولين الخالي من الرصاص في كل مركبة. وفي الوقت الحالي فإن 70 % من الجازولين الذي يباع في الولايات المتحدة هوجازولين خالٍ من الرصاص.

المواد الكيميائية السامة
Toxic Chemicals

هنالك مجموعة من المواد السامة التي تم تجاهلها في الماضي (أو لم تكن مفهومة حتى وقت قريب) وهي مجموعة من المواد الكيميائية السامة الملوثة للبيئة، والتي توجد في كل الأوساط البيئية. لانبعاثات المواد الكيميائية السامة في الهواء، بفعل الأنشطة البشرية، تأثيرات حادة ومزمنة في آن واحد على صحة الإنسان وعلى البيئة. تشمل المصادر التي تتسبب في انبعاث المواد الكيميائية السامة إلى الغلاف الجوي العمليات الصناعية والتصنيعية، واستخدام المذيبات، ومواقع التعامل مع، والتخلص من، النفايات الخطرة، والمرمدات، والمركبات الآلية، ومنشآت معالجة مياه المجاري. تنبعث المعادن الثقيلة (مثل الكادميوم، والكروم، والزئبق، والزرنيخ، والبريليوم) من المصاهر، والعمليات التصنيعية، والمصافي المعدنية.في حين تنفث منشآت تصنيع البلاستيك والمواد الكيميائية مواد عضوية سامة مثل البنزين وكلوريد الفينيل. وتنبعث مركبات الدايوكسين المكلورة عند حرق البلاستيك في مرمّدات ذات حرارة عالية.

وبالنسبة للبشر، يحدث معظم التعرض لهذه لملوثات عن طريق الإستنشاق في المواقع الصناعية، ولكن معظم الإنبعاثات تحدث من المداخن والعوادم. وتحدث المزيد من المشاكل عندما تغادر هذه السموم الغلاف الجوي وتسقط على الأرض، حيث يتم إستهلاكها أو أمتصاصها من قبل الحيوانات، والأسماك،

والمحاصيل التي يستهلكها البشر. كما تلوّث هذه السموم المنقولة بواسطة الهواء مصادر المياه، وهي المصادر التي توفر مياه الشرب للمجتمعات. وعندما تدخل هذه السموم إلى الجسم، فإنها تتراكم ويمكن أن تتركز بكميات كبيرة في الأنسجة البشرية.

دراسة حالة Case Study 1.8

الزينوإستروجينات وهيمنة الإستروجين

Xenoestrogens and Estrogen Dominance

فشلت التماسيح الاستوائية في بحيرة أبوكا في فلوريدا في أن تتكاثر، وعانت معظم الذكور من ضمور الأعضاء التناسلية؛ وبنت أزواج من إناث النوارس أعشاشها سوياً، في حين أظهر بعض صغار الذكور في نفس المجتمع أعضاء تناسلية مؤنثة جزئياً. ويولد ذكر سمك سلمون قوس قزح في بريطانيا العظمى الذي يعيش قرب مخارج مياه المجاري بروتينات في أنسجته لا توجد عادة إلا في بيض الإناث. وفي ذات الأثناء،أشارت عدة دراسات إلى أنه وخلال الأربعين عاماً الماضية، أصبح ذكور البشر، على مستوى العالم، يعانون من إنخفاض حاد في عدد ونوعية حيواناتهم المنوية. كما تم رصد زيادة كبيرة في معدل حدوث التطور غير المكتمل أو غير الطبيعي للأعضاء التناسلية، مثل عدم نزول الخصي وتشوه القضيب الذكري في بعض الدول الإسكندنافية. كذلك تبدو العديد من السرطانات ذات الإرتباط المعروف بالهرمونات الجنسية في تزايد، ويشمل ذلك سرطان الثدي، وسرطان الخصية، وسرطان البروستاتا (مركز هارفارد لتحليل المخاطر 1996).

أصبح بعض العلماء قلقين بشكل متزايد من أن تمثل هذه التشوهات المتنوعة والواسعة الإنتشار للجهاز التناسلي أعراضاً ظاهرية لمشكلة بيئية بدت تظهر للعيان: وهي التراكم البيئي للزينوإستروجينات – وهذه مواد كيميائية دائمة تشبه

الهرمونات الجنسية. سميت هذه المركبات بالمركبات المشوّشة على وظائف الغدد الصماء،بسبب تأثيرها على وظائف الجهاز الهرموني.

تحاكي الزينوإستروجينات وظيفة الإستروجين من خلال ارتباطها بمستقبلات الإستروجين بنفس الطريقة وبنفس الكمية التي يرتبط بها الإستروجين نفسه. يملك هذا الأمر القدرة على إحداث خلل كبير في التركيب التشريحي ووظيفة الجهاز التناسلي. وتشمل وظائف الهرمونات الجنسية الطبيعية (وتشمل الإستروجين، والبروجيسترون، والتستيرون) المنتجة من الجهاز التناسلي البشري التحكم في عمليات التطور الطبيعي، والنمو، والتمايز الجنسي، والسلوك الجنسي، والوظيفة التناسلية. وكذلك، خلال دورة حياة الإنسان، ترتبط هذه الهرمونات بعدد من الوظائف الجسدية الأخرى.

وكمثال على شيوع الزينوإستروجينات، أوقفت الولايات المتحدة أستخدام مادة دي دي تي DDT للأغراض المنزلية في بداية السبعينيات. ولكن ولسوء الحظ، لا زالت هذه المادة تصنع في الولايات المتحدة وتباع في الخارج. ويقوم تجار التجزئة بشراء المنتجات المعالجة بمادة دي دي تي ومن ثم بيعها داخل متاجر الولايات المتحدة. تعتبر مادة دي دي إي، وهي ناتج استقلابي رئيسي مشتق من مادة دي دي تي، زينوإستروجين يبقى لعقود في ترسبات الدهون داخل جسم الإنسان. وقد رصدت له آثار مشابهة لعمل الإستروجين مثل السلوك الأنثوي والتخنث في الذكور في أنواع مختلفة من الأسماك شملت أماكن عدة من البحيرات العظمى، والتي تحتوي على تراكيز عالية من بقايا مواد دي دي تي، وبي سي بي ثنائي الفينيل عديد الكلور (polychlorinated biphenyls) . والآن تعتبر الأسماك مؤشراً على التلوّث بالزينوإستروجين في الأجسام المائية.

هذا وقد تم أيضاً الربط بين وجود الزينوإستروجين في البيئة والبلوغ المبكر في إناث البشر. يتراوح المدى الطبيعي المتوسط لسن البلوغ بين 12 – 13 سنة. وقد أشارت دراسة حديثة أجريت على 17000 فتاة في الولايات المتحدة إلى

أن 7% من الفتيات البيض و27% من الفتيات السود أظهروا علامات جسدية على البلوغ في سن 7 سنوات. وبالنسبة للفتيات بعمر 10 سنوات، زادت النسبة إلى 68% و95% على الترتيب. وأظهرت دراسات أخرى من المملكة المتحدة، وكندا، ونيوزيلاند نتائج مشابهة للتغيرات في سن البوغ.

تعمل بعض أنواع الزينوإستروجينات من خلال الإرتباط بمواقع المستقبلات وملئها، على منع الهرمون الحقيقي من الإرتباط بالمستقبلات. في حين يقوم بعضها الآخر بمنع وصول جزئيات الهرمون الحقيقي للمستقبلات، الأمر الذي يمنع هرمونات الجسم من عمل التعديلات الفسلجية الطبيعية. ويؤثر بعضها الآخر أيضاً على عملية الإستقلاب، مما يغير من تراكيز هرمونات الجسم الطبيعية. وتشمل المركبات التي تمتلك مثل هذه الخصائص بعض مركبات الكلور العضوية (وبشكل رئيسي بعض المبيدات الحشرية مثل مادة دي دي تي، والكيبون، وغيرهما، وتشمل أيضاً بعض مركبات ثنائي الفينيل عديد الكلور، وبعض مكوّنات البلاستيك ومنتجات تحلل البلاستيك عديد الكربونات، وبعض المواد الصيدلانية مثل(دي إي أس) ثنائي إيثيل الستيلبسترول (diethylstilbestrol-DES).

وباختصار، فإن مركبات الزينوإستروجين (وبضمنها الإستروجينات المصنعة بشريا للأغراض الصيدلانية مثل منتجات التحكم في الولادة والتي تم ربطها الآن بارتفاع مستويات السرطان)، ومن خلال تسببها في إثارة تغيرات غير ملائمة للهرمونات، قد تؤدي إلى توالد خلايا الأنسجة التناسلية (مما يزيد من خطر السرطان)، وإنحرافات في التمايز الجنسي الجنيني. إن مصادر الزينوإستروجين متفشية في المجتمع الأمريكي الحديث، ولأن معظم المركبات البيئية تميل إلى تقليل الاستجابة لمؤثرات الهرمونات الجنسية، تقليل الاستجابة عند استخدام جرعات منخفضة منها وزيادة الاستجابة عند استخدام الجرعات

العالية، فإن تعريف وضبط هذه المشكلة بصورة ملائمة أصبح أمراً صعباً بشكل متزايد.

يعزو العديد من الدارسين لظاهرة البلوغ المبكر هذه الظاهرة للإستروجين البيئي في البلاستيك، وللتعرض الثانوي عبر لحوم وحليب الحيوانات المعالجة بالهرمونات الستيرويدية. وقد حصلت زيادة ملفتة للإنتباه في عدد الفتيات اللواتي تعرضن للبلوغ المبكر في السبعينيات والثمانينات من القرن العشرين في بورتو ريكو. ومن ضمن تأثيرات أخرى، حدث تطور في أثداء إثاث بعمر سنة واحدة. ولقد تم اقتفاء أثر البلوغ المبكر واسند إلى استهلاك لحوم البقر، والخنازير، ومنتجات الألبان المحتوية على تركيز عالٍ من الإستروجين. كما أظهرت دراسة أخرى من بورتوريك ووجود تراكيز عالية من الفثاليت (Phthalate) – وهو زينوإستروجين موجود في بعض أنواع البلاستيك – في الفتيات اللواتي أظهرن أعراض البلوغ المبكر مقارنة بالمجموعة الضابطة.

قد يكون هذا الأمر ناتجاً من التأثير المتعاضد لدهن الجسم الزائد والتعرض للمواد الإستروجينية في تسريع البلوغ. فدهن الجسم هوأحد مواقع تصنيع الإستروجين داخلياً. قد يضيف التعرض للإستروجين البيئي الكمية الكافية فقط من هرمون الإستروجين الخارجي بحيث يحدثان التأثير التآزري الضروري لإحداث البلوغ، تماماً مثل القطرة الأخيرة من الماء الذي يتسبب في تدفق الماء من الوعاء (ترانكينا 2001).

يدعو مركز هارفارد لتحليل المخاطر (1996) للإجابة على خمسة أسئلة :

28- ما هي جودة الأدلة على أن التغييرات الملحوظة بمرور الزمن على أعداد الحيوانات المنوية وحدوث التشوهات التناسلية ؟ وما هي أسس ربط أي من هذه النزعات مع المواد الكيميائية البيئية ؟

29- هل ينبغي إفتراض أن لدى العوامل ذات الآثار الهرمونية مستوى عتبة للتعرض حتى تظهر آثارها السامة؟ وإذا كان الأمر كذلك،

فكيف يمكن تحديد مستويات العتبة هذه تجريبياً؟

30- هل تملك الفايتوإستروجينات بمستوياتها المعهودة أي تأثير واضح على الغدد الصماء؟ وإذا كان الأمر كذلك، فهل تعمل أساساً كعامل مشارك أوكعامل مضاد ؟

31- هل تكون ذكور الكائنات الحية حساسة بشكل خاص للزينوإستروجين مقارنة بالإناث عادةً، لأنها تملك كميات أقل من الإستروجين الطبيعي؟ وإذا كان الأمر كذلك، فلماذا لا تتأثر بالفايتوإستروجين (phytoestrogen).

32- هل توجد أوقات مفتاحية خلال تطور الجنين بحيث أنه حتى التعرض القليل غير الملائم للمؤثرات الإستروجينة يتسبب بإنحراف مساقات التطور الجنسي الطبيعي أو يؤثر على الخصوبة المستقبلية؟

وفي هذه الأثناء، يوفر مركز التحكم بالأمراض (سي دي سي CDC) وجماعة العمل البيئي (إي دبليوجي EWG) دلائل قوية على أن أولئك الذين يعيشون في مجتمعات صناعية يحملون في أجسامهم آثاراً لعدد مذهل من المركبات الكيميائية غير الطبيعية. فقد أجرى مركز التحكم بالأمراض وجماعة العمل البيئي دراستين بأهداف مشتركة، ولكن لأغراض متعارضة. ففي حين درس مركز التحكم بالأمراض "مواد كيميائية منفردة" في عدد من البشر، ركزت جماعة العمل البيئي على "الأفراد الذين تحتوي أجسامهم على عدد من المواد الكيميائية". وقد وجدت الدراستان 49 مادة كيميائية مشتركة و"متوسط 91 مركب صناعي، وملوث، وغيره من المواد الكيميائية في دم وبول تسعة من المتطوعين (أنظر الجدول 1.8)، ومجموع 167 مادة كيميائية في المجموعة" (أنظر التقرير في الرابط الإلكتروني www.ewg.org/reports/bodyburden : عبء الجسم :التلوّث في البشر).

الجدول 1.8 التلوث الكيميائي في البشر

الأثر الصحي أوالنظام المتأثر	متوسط عدد المواد الكيميائية التي وجدت في التسعة أشخاص الذين تم فحصهم	العدد الكلي للمواد الكيميائية التي وجدت في التسعة أشخاص الذين تم فحصهم	العدد الكلي للمواد الكيميائية التي وجدت في التسعة أشخاص الذين تم فحصهم
التشوهات عند الولادة أوتأخر النمو	55	79	68–37
المخ والجهاز العصبي	62	94	73–46
السرطان	53	76	65–36
القلب والأوعية الدموية والدم	55	82	68–37
النظام التناسلي للأناث	42	61	56–24
السمع	34	50	47–16
النظام الهرموني	58	86	71–40
النظام المناعي	53	77	65–35
الكلى	54	80	67–37
الكبد	42	69	54–26
الرئة/التنفس	55	82	67–38
الجهاز التناسلي للذكور	47	70	60–28
الجهاز التناسلي	55	77	68–37
الجلد	56	84	70–37
المعدة والأمعاء	59	84	72–41
الرؤية	5	11	7–4

جمع بواسطة مجموعة العمل البيئية

ترتبط بعض المواد الكيميائية بأكثر من أثر صحي واحد، وتظهر في عدد من الفئات في هذا الجدول.

المراجع
References

عبء الجسم التلوّث في البشر: www.ewg.org/reports/bodyburden

مركز هارفارد لتحليل المخاطر. 1996. المخاطر في إطارها الصحيح :هل تخل المواد الكيميائية في البيئة بالتحكم الهرموني في النمو والتطور؟: c3.org/chlorine_issues/health/homegrow.html (1 أبريل 1996).

ترانكينا، ميشيل أل. 2001 مخاطر الإستروجين البيئي: www.worldandi.com/public/2001/October/ee.html

قراءات إضافية
Additional Reading

إي بي أي. مبادرة البحث في مشوشات الغدد الصماء : www.epa.gov/endocrine/gedri/

جامعات تولين وسافير. الإستروجينات البيئية والهرمونات الاخرى : www..som.tulane.edu/ecme/eechome/

صندوق الحياة البرية العالمي.المواد الكيميائية السامة، المشوشات : www.worldwildlife.org/toxics/progareas/ed/index/htm

المادة الحبيبية المنقولة بواسطة الهواء
Airborne Particulate Matter

تملك **المادة الحبيبية المنقولة بواسطة الهواء** مثل الغبار، والدخان، والمستنشقات آثاراً بيئية وصحية قصيرة وطويلة الأجل في آن واحد. تتراوح هذه الآثار بين تهيج العيون والمجرى التنفسي وتقليل مقاومة الجسم للأمراض، إلى

الأمراض الرئوية المزمنة. وتستطيع الحبيبات، وخصوصاً الصغيرة منها (التي تقل عن 0.2 ميكرون) القادرة على الوصول إلى المناطق السفلى من المجرى التنفسي أن تؤثر على التنفس، وتفاقم من الأمراض التنفسية والقلبية، وأن تغير من أجهزة الجسم الدفاعية ضد المواد الغريبة، وتدمر أنسجة الرئة. ويمكن أيضاً أن تكون هذه الحبيبات مسرطنة (مثل الحبيبات المنبعثة من محركات الديزل)، ويمكن أن تمتص الملوثات الغازية (مثل ثاني أوكسيد الكبريت) وتوصلها للرئة بشكل مباشر.كما يمكن للحبيبات التي تذروها الرياح أن تكون سامة (مثل المبيدات الحشرية وثنائيات الفينيل عديدة الكلور).

تشمل المصادر الرئيسية للحبيبات محركات الديزل، وحرق الأخشاب في المناطق السكنية، ومنشآت توليد الطاقة من الفحم، والحراثة الزراعية، والإنشاءات، والطرق غير المعبدة. وبالإضافة إلى ذلك، تنفث الحبيبات في الغلاف الجوي من المطاحن الفولاذية، ومنشآت الطاقة، ومحالج القطن، وأعمال هدم المنشآت، ومباني الأسمنت، والمصاهر، ومصاعد تخزين الحبوب.

وتعتبر الحبيبات مسؤولة أيضاً عن إتساخ وتعرية مواد البناء، وعن الإنخفاض الحاد في الرؤية (الضباب الجوي)، ودمار الغطاء النباتي.

الترسب الحمضي

Acidic Deposition

الترسب الحمضي – تعد تسمية المطر الحمضي تسمية غير دقيقة وذلك لأن الجليد وكل أنواع الترسب الأخرى تتأثر هي الأخرى، مما يتسبب في تكوين ضباب حمضي، وسحب حمضية، وندى حمضي، وصقيع حمضي كذلك لم تتسبب فقط في الكثير من الارتباك، بل في الكثير من الجدل. لدينا القليل من الشك والكثير من الأدلة العلمية التي تشير الى الترسب الحمضي كمشكلة بيئية.وفي الحقيقة، فإن مشاكل الترسب الحمضي كانت مبعث قلق لمئات السنين، هذه الظاهرة ليست بجديدة.

وبعد أن عرفنا الترسب الحمضي يمكننا القول إنه ظاهرة تؤثر فيها الملوثات على الطبيعة الكيميائية للترسب. إن الترسب بطبعه أميل للحموضة.هل تتذكر مقياس الأس الهيدروجيني؟ يتراوح هذا المقياس بين 0 – 14، حيث تعتبر قيمة 7 في هذا المقياس قيمة متعادلة وكلما إنخفضت قيمة القراءة المقاسه عن 7 كلما زادت الحموضة. ولأن مقياس الأس الهيدروجيني هو مقياس لوغاريثمي، فهناك فرق 10 أضعاف بين كل درجة والتي تليها. وانخفاض الأس الهيدروجيني من 6 إلى 5 يمثل زيادة عشرة أضعاف في الحموضة، كما أن الإنخفاض من 6 إلى 4 يمثل زيادة مائة ضعف. وتتميز كل الأمطار بحموضة خفيفة، ومع ذلك، لا نعتبرها "مطراً حمضياً" ما لم تكن درجة الأس الهيدروجيني لها أقل من 5.6. تم رصد التغير في كيمياء الترسب خلال أكثر من 30 عاماً، وخلال هذه الفترة، أدركت الحكومات الوطنية في أمريكا الشمالية وأوروبا مدى جدية حموضة الترسب بسبب الملوثات الكبريتية والنيتروجينية ذات المنشأ(البشري).

ما مدى أهمية ظاهرة "المطر الحمضي" ؟

Phenomenon،How Significant is the "Acid Rain"

في بعض المناطق، انخفضت حموضة الأمطار لأقل من 5.6. على سبيل المثال، في الأجزاء الشمالية الشرقية للولايات المتحدة،يصل متوسط الأس الهيدروجيني الى 4.5، وأن وصول الأس الهيدروجيني إلى 4 ليس أمراً مستبعداً (هذه المستويات أكثر حمضية 1000 مرة من الماء المقطر). ويبدو أن الحموضة الزائدة ناتجة من حمض الكبريتيك (65%) وحمض النتريك (30%). تشمل المصادر الرئيسية الواضحة لأوكسيدات الكبريت والنيتروجين لهذه الأحماض القوية منشآت توليد الطاقة من الوقود الأحفوري، ومصاهر المعادن، والغلايات الصناعية، والمركبات الآلية.

يمثل وادي أوهايو الأوسط والولايات المجاورة له المصدر الرئيس لأكاسيد الكبريت والنيتروجين (مولدّات "المطر الحمضي). تنفث ولاية أوهايو ضعفي مستوى أوكسيد الكبريت الذي تنتجه كل ولايات نيوإنجلند مجتمعة. وتتبعث مستويات كبيرة من أوكسيد الكبريت من إنديانا، وكنتاكي، وألينوي، وتينيسي، وميسوري، وميتشيجان. وتظهر البيانات التي تم جمعها من عدة شبكات مراقبة أن الولايات التي تستقبل أكبر معدل لهطول الأمطار الحمضية هي الولايات التي تقع في إتجاه مهب الرياح القادمة من الولايات المولّدة للمطر الحمضي وفي الإتجاه الشمالي الشرقي منها.

آثار المطر الحمضي
Effect of Acid Deposition

تقاس آثار المطر الحمضي عادة بمقاييس بيئية واقتصادية. فمن ناحية التكلفة الإقتصادية، فإنه من الصعب جداُ تقدير هذه الكلفة، وذلك لأن تقديرها يشمل العديد من النواحي: الضرر على الزراعة، والسياحة، ومصايد الأسماك، والبحيرات، والغطاء النباتي، إلى جانب صحة الإنسان والحيوان. ومع ذلك، فهناك حقيقة مؤكدة وسهلة التحديد. يمكن أن ترى آثار الترسب الحمضي عبر كامل النظام البيئي. تشمل الآثار البيئية للترسب الحمضي تضرر أسطح الورق، وتحرر مواد كيميائية ضارة من التربة تدمر النظام الجذري، وتحرر المعادن السامة مثل الألومنيوم المحفّز بواسطة الأحماض، والذي يترشح إلى داخل البحيرات والمجاري المائية، مهدداً إمدادات المياه العامة والأسماك. في الغالب تظل المعادن خاملة في التربة حتى يتغلغل المطر الحمضي عبرها (وهي الظاهرة التي يطلق عليها العلماء التحريك).فحموضة الترسيب قادرة على إذابة وتحريك المعادن مثل الزئبق، والمنغنيز، والألومنيوم (كما أشرنا سابقاً). وبعد أن يتم نقلها بواسطة حركة المياه الحمضية عبر التربة، تتراكم المعادن

السامة هذه في البحيرات والمجاري المائية، حيث تشكل تهديداً للكائنات المائية (أنظر الشكل 1.8). وتسبب النترات من الترسبات الحمضية في مصبّات الأنهار المالحة في إزدهار الطحالب والتي تتسبب في نفاد الأوكسجين وخنق الأسماك والنباتات المائية. وباتحاده مع أوزون المستوى الأرضي، يمكن للترسيب الحمضي أن يعيق نمو النباتات ويدمر الغابات.

يمكن للترسب الحمضي أن يسبب الضرر للمواد المستخدمة في البناء والنحت أيضاً. كما تتعرض مواد البناء مثل الحجر الجيري، والرخام، وأنواع الطلاء المكونة من الكربونات، والفولاذ المجلفن للتعرية والإضعاف بفعل الأحماض المخففة الموجودة في الترسب الحمضي.

الشكل 1.8 بحيرة تمتد على مساحة عشرين فدان في جبال الأبالاش. المظهر البكر للبحيرة خادع. لا يرتاد الصيادون هذه البحيرة لأنها خالية من الأسماك. بسبب مستوى الترسب الحمضي، يبلغ الأس الهيدروجيني لهذه البحيرة 5.9- هذه القيمة منخفضة جداً (حمضية جداً) بدرجة تمنع وجود العديد من الأسماك.

مصادر التلوّث المائي

Sources of Water Pollution

إن حماية إمدادات مياه الشرب، ومياه المناطق الساحلية، والمياه السطحية، هو أمر شائك بسبب تنوع المصادر التي تؤثر عليها. **فالمياه الجوفية**، تفسد من خلال التلوّث بفضلات الحيوانات، ومن خلال الترشيح من صهاريج

التخزين الواقعة تحت الأرض، و**شراب العلف شبه المخمر** (silage liquor)، و**الراشح** (leachate) من مواقع طمر النفايات، وأكوام الأوساخ، وتدفق المذيبات للمجاري أوالأرض، والأسمدة والمبيدات الحشرية، وأحواض الصرف الصحي، وآبار التصريف، ومنشآت معالجة مياه المجاري الغير مجهزة، وهوالأمر الذي يهدد نسبة كبيرة من إمدادات مياه الشرب في العالم.

إن تلوّث المياه أمر متنوع ومعقد. يظهر هذا الإمتزاج بوضوح في مجموعات الملوثات المختلفة وطريقة تداخلها. تشمل مجمعات ملوثات المياه النفايات المتطلبة للأوكسجين، والنفايات المسببة للأمراض، والمواد الخطرة والسامة، الرسوبيات، والتلوّث الحراري، ومغذيات النباتات، والمواد الدائمة، والمواد المشعة. يمكن أن نرى تداخل هذه المجموعات في نفايات مياه الجاري التي لم تعالج بشكل ملائم. والتي قد تحتوي على نفايات عضوية، ونفايات مسببة للأمراض، ومغذيات نباتية، مواد سامة، ومواد دائمة. ويمكن للملوثات أن تصنف في أكثر من مجموعة واحدة .وعلى سبيل المثال، فمواد البي بي سي هي مواد خطرة ومواد دائمة في آن واحد، كما يمكن لملوث أن يدخل الماء ملتصقاً بنوع آخر، فمثلاً، عادة ما تلتصق المواد العضوية الكيميائية على الرسوبيات. ويمكن للملوثات من كل المجموعات أن تلوّث أنظمة المياه. ويمكن للملوثات المختلفة أن **تتآزر**(مع بعضها البعض) لتكون ملوثات قاتلة.

النفايات المتطلبة للأوكسجين
Oxygen Demanding Wastes

إن النفايات **المتطلبة للأوكسجين** أو**النفايات العضوية** هي جزيئات صغيرة بقيت مما كان في يوم ما مادة نباتية أوحيوانية حية. وتوجد عادة معلقةً في عمود الماء، وتتراكم أيضا في طبقات سميكة من الرسوبيات في قاع البحيرات أوالأنهار.تمثل النفايات البشرية والحيوانية و/ أوالبقايا النباتية معظم المادة

المعلّقة. أما المصادر الأخرى للنفايات المتطلبة للأوكسجين فهي الجريان السطحي الطبيعي من اليابسة، والنفايات الصناعية من مصافي النفط، ومصانع الورق، ومنشآت معالجة الأغذية، والجريان السطحي من المناطق الحضرية.تستخدم البكتريا الهوائية المادة العضوية كمصدر للطاقة، في العملية التي تعرف **بالتحلل** (**decomposition**). وخلال تحليلها أوإستهلاكها للمواد العضوية، فإن البكتريا تستخدم **الأكسجين المذاب** (**dissolved oxygen**) في الماء بشكل يضر بالكائنات المائية الأخرى مثل الأسماك والمحار .لا تحتاج البكتريا الموجودة في الرسوبيات (**البكتريا اللاهوائية**) للأوكسجين حتى تحلل المواد العضوية، ومع ذلك فقد تنفث غازات سامة مثل الميثان وكبريتيد الهيدروجين كنواتج ثانوية للتحلل.

الطلب الحيوي على الأوكسجين (BOD) هو مقياس لكمية الأوكسجين المذاب المطلوب من قبل المفككات حتى تستطيع تحليل المواد العضوية في حجم معين من الماء. يمتلك جسم ماء طبيعي (بحيرة أو مجرى مائي) ذوطلب حيوي مرتفع على الأوكسجين تركيزاً منخفضاً من الأوكسجين المذاب لأن البكتريا تقوم باستهلاك الأوكسجين لتحليل المادة العضوية.(تصل مستويات الطلب الحيوي على الأوكسجين في المياه النقية ومجاري المياه العذبة من 0 الى 2–5 على الترتيب)، يعد الأوكسجين المذاب عاملاً محدداً في البيئة المائية، ولذا فإن نفاد الأوكسجين هوعامل مهم يؤثر على جودة المياه في بحيرة أومجرى مائي.

النفايات المسببة للأمراض
Disease – Causing Wastes

تدخل **النفايات المسببة للأمراض** الأجسام المائية من مصادر نفايات البشر والحيوانات غير المعالجة وتزيد من فرصة كائن حي معدي – عامل ممرض ينتقل بواسطة الماء – من النوع الذي يسبب أمراضاً وبائية (مثل التايفويد،

والتهاب الكبد المعدي، والكوليرا، والدوسنتاريا، على سبيل المثال) في أن يُلوث مصدر مياه. تجد الممرضات المنقولة بواسطة الماء طريقها لجسم الإنسان عن طريق براز أوبول الأشخاص والحيوانات المريضة. تنتقل العديد من الأمراض الأخرى عن طريق الكائنات الحية الموجودة في المياه، وعلى سبيل المثال، ينقل البعوض الطفيل الذي يسبب الملاريا، وتنقل القواقع الدودة التي تسبب البلهارسيا. وفي كل صيف، تصبح المناطق المتأثرة بفيروس النيل الغربي (والذي ينتقل بواسطة البعوض وإضافة إلى ذلك الطيور) أكثر اتساعاً.

المواد السامة والمواد الخطرة

Toxic and Hazardous Substances

المواد **السامة** أو**المواد الخطرة** هي تلك المواد المضرة بصحة الأفراد أوالكائنات الحية.فهي تتسبب في إعطاب إستقلاب الكائنات الحية نتيجة لتناولها أو الاحتكاك بها، كما قد تكون قاتلة. تشمل المواد السامة الزيوت، والجازولين، والدهون، والمذيبات، وعوامل التنظيف، والسموم الحيوية، والمواد الصناعية. تملك العديد من الأنهار، والمجاري المائية، والبحيرات، والخلجان آلاف المواد الكيميائية السامة والخطرة في رسوبياتها. وتعد الإكتشافات المتزايدة للمواد الكيميائية الخطرة في مقالب القمامة ومطامر النفايات أحد أهم المشاكل البيئية في العديد من الدول الصناعية. ذلك لأن الملوثات الخطرة التي ترشح من المقالب ومطامر النفايات، تجد طريقها إلى البحيرات، والمجاري المائية، والأنهار، وإمدادات المياه الجوفية، مما يؤدي إلى تلوّث إمدادات مياه الشرب.

تدخل الآلاف من المواد الكيميائية العضوية إلى الأنظمة البيئية المائية كل يوم. ومعظمها نواتج ثانوية للعمليات التصنيعية، أو تكون موجودة في مئات أوآلاف المنتجات شائعة الإستخدام. وبعضها مسرطن (الدايوكسين والبي بي سي).كما تساهم المواد الغير عضوية (الأحماض، والأملاح، والمحاليل

الملحية، والمعادن) في تلوّث أنظمتنا المائية. تنتج بعض العمليات مثل عمليات التعدين والعمليات التصنيعية هذه الملوثات، وتطلق الأحماض في البيئة. يسبب الملح الناتج من عملية تمليح الطريق وترويتها الضرر، كماتطلق آبار النفط والغاز الطبيعي المحاليل الملحية،كما تطلق العمليات التصنيعية المعادن (الكروم، والنحاس، والزنك، والرصاص، والزئبق، إلى جانب معادن أخرى) في الأنظمة البيئية المائية.

دراسة حالة Case Study 2.8

التعرض المستمر للمبيدات الحشرية

Persistant Pesticide Exposure

يعد الأترازين (Atrazine)، وهومشوّش معروف للغدد الصماء، أكثر المبيدات الحشرية إستخداماً في الولايات المتحدة. يستخدم الأترازين للتحكم في الأعشاب في تطبيقات حضرية وريفية وحتى في أراضي الغابات، ويستخدم عموما للتحكم في الأعشاب عريضة الأوراق على وجه الخصوص. يعتبر الأترازين من المواد الدائمة بيئياً (التي تمكث في البيئة) وهو أكثر المبيدات الحشرية التي يتم العثور عليها وهي تلوث آبار وإمدادات مياه المدن، بالإضافة إلى المياه السطحية والجوفية. ويقدر أن 60% من تعداد سكان الولايات المتحدة، يتعرضون لهذا المبيد يومياً من غير أن يعرفوا ذلك.

تعرض الحيوانات للأترازين

Animal Exposure to Atrazine

أعطيت جرعات منخفضة من الأترازين لإناث لفئران في مرحلة الحمل. وكانت النتيجة أن ذرية الإناث الناتجة طوّرت غدد لبنية غير طبيعية، الأمر الذي يزيد من خطر تعرضها للسرطان إذا تعرضت لمسرطن. وعند تعريضها للأترازين، أظهرت الضفادع معدلاً أعلى من السلوك الخنثوي، حيث أظهرت الذكور

مستوىً أقل من هرمون التستوستيرون (**testosterone**). وقد يحدث الأترازين آثاراً مشابهه في البشر، على المدى الطويل، إذا تم التعرض له أثناء الحمل.

تعرض البشر للأترازين

Human Exposure to Atrazine

تم الربط بين التعرض للأترازين والمعدلات عالية من الإصابة بسرطان البروستاتا في عمال المصانع في لويزيانا، وربط بمرض سرطان الدم في عمال المزارع المهاجرين في كاليفورنيا. كما حظرت العديد من الدول الأوروبية، بضمنها فرنسا، والدنمارك، وألمانيا، والنرويج، والسويد، إستخدام الأترازين بسبب آثاره المشوشة على الغدد الصماء، على الرغم من أن الوكالة الأمريكية لحماية البيئة لم تدرجه على قوائمها بعد.

يعتبر أكثر الناس عرضة لخطر الملوثات المشوشة لعمل الغدد الصماء، وبضمنها الأترازين، الأطفال الذين لم يولدوا بعد. فحتى التعرض الطفيف، خلال فترة الحمل، لمشوشات الغدد الصماء، يمكن أن يؤثر لاحقاً على تطور الأعضاء التناسلية والأجهزة التناسلية: الأثداء، ووالمبايض، والرحم، والخصية.

المراجع

References

إل، إس. بيرنبوم، وإس، إي. فرنتون، " السرطان وتعرض النموللمركبات المشوشة على وظائف الغدد الصماء" إنفيرون هيلث بيرسبكتف 111، العدد 4 (أبريل 2003): 389–94.

إي بي أي "خلاصة تقييم مخاطر الأترازين" 2 مايو2002. موجود عند: www.epa.gov/oppsrrd1/reregisteration/atrazine/srrd_summary_may02.pdf (تمت زيارته في 03/1/22)

" الضفادع المؤنثة: المبيدات الحشرية تشوش المجموعات الجنسية" سينس نيوز أونلاين 161، العدد 16 (أبريل 20، 2002).
موجود عند: www.sciencenews.org/20020420/fob1.asp
تي، بي. هايز وآخرون 2002.
بي، أي. هاسل، آر، كالمز وآخرون "دراسة حالة محكومة متداخلة لسرطان البروستاتا والتعرض للأترازين" جورنال أوف أوكيوبيشنال آند إنفايرومنتال ميديسن 46، العدد 42 (أبريل 2004): 379–85.

الرسوبيات
Sediments

تسافر حبيبات التربة التي جرفتها قطرات المطر عبر الجريان السطحي إلى المجاري المائية، والأنهار، والبحيرات، أو المحيطات حيث تترسب هناك **كرسوبيات**. وعلى الرغم من أن الأنهار والمجاري المائية دائما ما نقلت كميات ضخمة من الرواسب إلى البحر، فإن حمولتها من الرواسب اليوم هي أكبر من أي وقت مضى (وبحسب وزنها، فإن الرواسب هي أكثر الملوثات المائية وفرة). فالتربة التي جردت من غطائها النباتي عن طريق زراعة المحاصيل، وقطع الأخشاب، والتعدين بالتعرية، والرعي الجائر، وشق الطرق، وأنشطة البناء الأخرى، وهي التربة الأكثر عرضة لمعدلات عالية من التعرية. وعندما تتعرض للتعرية، فإن رسوبيات بملايين الأطنان تترسب في أنظمتنا المائية، محوّلة الأنهار والمجاري المائية إلى طين.

إن النتيجة الظاهرة لتعرية التربة هي فقدان ترب زراعية قيمة، ولكن هناك مشاكل أخرى أيضاً تتعلق بانهاك التربة. تملأ حبيبات التربة التي تعرضت للتعرية في نهاية المطاف البحيرات، والبرك، والمستودعات، والموانئ، وقنوات الملاحة، والقنوات النهرية. ونتيجة لذلك، تفقد رسوبيات البحيرات والأنهار

جاذبيتها بشكل كبير، مما يؤدي إلى فقدان قيمتها الترفيهية. كما تعيق الرسوبيات الملاحة، وتغطي الكائنات الحية الي تسكن في القاع، وتقضي على مناطق قيمة لتوالد الأسماك،وتقلل من اختراق الضوء الضروري لعملية التخليق الضوئي. ومن مشاكل التعرية الأخرى، أن الترب التي جرفت من أراضي زراعية تكنس معها مغذيات في هيئة نيتروجين وفوسفور إلى المياه السطحية. لا يمثل هذا الأمر مشكلة عندما تكون الكميات قليلة. ولكن، يمكن لزيادة كبيرة في حمل الرسوبيات أن تسبب مشاكل، تغيرات بيئية.

في دراسة الحالة 3.8، سنصف التغيرات البيئية التي حدثت في خليج جيسبيك، والذي نتجت نسبياً من تدفق الرسوبيات والمغذيات.

دراسة حالة 3.8 Case Study

ما مشكلة خليج جيسبيك ؟

What is Wrong with Chesapeake Bay?

قبل زمن ليس بالطويل (ربما قبل أقل من 40 عاماً مضت) كان في استطاعة سكان بلدات الساحل الشرقي لخليج جيسبيك أن يخوضوا في مياه صافية، تصل لحد ركبهم وهم في طريقهم لصيد السلطعونات (crabs). كان صيّادو السلطعونات يشقون طريقهم عبر الأعشاب المورقة والملوّحة في قاع الخليج، حاملين معهم شباك السلطعونات المثبتة على قضبان طويلة، وساحبين معهم أوعية ثبتت بحبل على خصورهم. إنتظر الصيادون حتى تهادت السلطعونات خارج الأعشاب، ثم رموا عليها شباكهم وقلبوها إلى داخل أوعيتهم، ثم واصلوا سيرهم وهم يغترفون السلطعونات الهاربة. كان الماء صافياً بحيث كانوا يستطيعون رؤية أقدامهم.

واليوم، تبدلت مياه الأمس الصافية بمياه بنية متعكرة. وهاجرت السلطعونات إلى أعشاب "أكثر خضرة" ومياه أنظف. إختفت الأعشاب الخضراء الكثيفة التي

كانت تداعب أقدامهم، وكذلك السلطعونات. وفي أقل من 40 سنة، اختفت الأعشاب المغمورة من عدة أجزاء من أعلى ووسط الخليج. يعتقد العلماء والمشتغلون بالبيئة أنهم بدأووا بفهم السبب؟ تكمن الإجابة في الاعتداءات التي تعرض لها خليج جيسبيك،والتي كان عدد منها صنيع يد البشر الثقيلة. لقد تغيرت بيئة الخليج. يشك بعض العلماء، وعلماء التبيؤ، ومختصي البيئة أن الخليج يحتضر.

ما الذي يحدث في خليج جيسبيك ؟

إن الإجابة معقدة. في الواقع، وخلال 40 سنة مضت، قدم العديد من المجموعات المختلفة والأفراد عدة "إجابات". وقدم العديد من هذه المجموعات تخمينات عما عساه يكون سبب مشكلة الخليج. وفيما يلي مثال على أحد هذه "الإجابات" – أحد الإجابات التي هي ليست في الحقيقة إجابة على مشكلة خليج جيسبيك.

جاء صانعوا السياسة البيئية في كومنولث فيرجينيا بما أطلقوا عليه إستراتيجية روافد نهر جيمس الأسفل فيما يتعلق بالنيتروجين من روافد هذا النهر الأسفل كسبب محتمل في تلوث منطقة خليج جيسبيك السفلى.النيتروجين هو أحد المغذيات.وعندما يوجد بكميات زائدة، فإنه يصبح ملوثاً. قفز بعض "المنظرين" إلى خلاصة أن النيتروجين هوسبب انخفاض تعداد المحار والكائنات المائية الأخرى في منطقة أسفل خليج جيسبيك. إن المحار، مثل السلطعونات، مهم لمنطقة أسفل الخليج، وذلك لأسباب إقتصادية وبيئية على حد سواء. فمن وجهة نظر بيئية، يعد المحار مهماً لهذه المنطقة بسبب عادات دورة حياة المحار، في الماضي، عملت بشكل جيد للحفاظ على مياه نظيفة نسبياً. فالمحار من المتغذيات المُرَشِّحَة، فهي تمتص الماء والمغذيات والمواد المصاحبة له. ومن ثم تقوم بفرز هذه المكونات المائية وتستخدم المغذيات التي تحتاجها للحياة. تُجمع الشوائب (بما في ذلك الملوثات) من قبل المحار ويتم

إخراجها مرة أخرى إلى نهر جيمس. في الماضي (ربما قبل 55 سنة مضت)، حين كان المحار مزدهراً في منطقة اسفل خليج جيسبيك، كان قادراً على أخذ مياه خليج جيسبيك المتعكرة وتحويلها إلى صافية تقريباً في ثلاثة أيام.وبالطبع فليس هذا هوالحال اليوم. فالمحار غير موجود تقريباً. أين ذهب؟ هل من أحد يعلم؟ هناك أمر واحد نعرفه على وجه اليقين: لم يعد المحار مزدهراً، ولم يعد يستعمر منطقة أسفل خليج جيسبيك بالأعداد التي كان عليها في الماضي.لم يعد يوفر الإستقرار الاقتصادي للصيادين، ولم يعد ينظف الخليج.

قفزت مجموعة من "الخبراء" إلى الحل. فقد عرفوا الإجابة – كانت لا محالة تلوث المغذيات، النيتروجين هوالمذنب، أليس ذلك؟ خطأ! فمشكلة الخليج كانت ذات أوجه عدة، ليست ثم إجابة واحدة. وأكثر من ذلك،فقد أخطأوا الهدف. لقد أخطأ مناصروالتلوث بالمغذيات هدفهم.

كونت سلطة صحة عامة إقليمية وجامعة محلية في منطقة أسفل خليج جيسبيك مجوعة دراسة لتدرس هذه المشكلة بصورة رسمية، محترفة، وعلمية. وخلال فترة خمسة أعوام، وباستخدام تقنيات إزالة المغذيات الحيوية (بي أن أر –BNR–) في منشأة محلية لمعالجة مياه الصرف الصحي، حددوا أن النفايات السائلة التي تغادر المنشأة وتدخل نهر جيمس الأسفل إحتوت وبشكل ثابت على كميات من النيتروجين تقل عن 8 ملغم/ل ولمدة خمسة أعوام متتالية.

فهل أصبحت المياه في خليج جيسبيك أنظف، وأصفى ؟ وهل رجع المحار ؟

والإجابة على هذين السؤالين هي : لا، وليس بشكل فعلي.

قرر بعض المشتغلين بالبيئة، والمشرعين، وبعض الدخلاء من ذوي النية السليمة أن النيتروجين هو سبب المشكلة. فإذا تم تقليل مستويات النيتروجين في أسفل نهر جيمس،أليس من المفترض أن يبدأ المحار في النمو واستعمار، وتنظيف منطقة أسفل خليج جيسبيك مرة أخرى ؟

قد تظن ذلك، ولكنهم كانوا مخطئين. فقد تم تقليل مستويات النيتروجين في

النفايات السائلة بشكل كبير من خلال المعالجة، وتم تقليل تلوث مصدر رئيسي للنيتروجين في منطقة أسفل خليج جيسبيك. إذاً قلّ مستوى النيتروجين، فأين المحار؟

والسؤال الأكثر أهمية هو: ما هي المشكلة الحقيقية؟ ما من أحد يستطيع أن يعطي إجابة محددة عن هذا السؤال.

ومع ذلك، فهناك العديد من الأسئلة التي ينبغي الإجابة عنها قبل أن نفترع نظرية أخرى حول كيفية تنظيف أسفل خليج جيسبيك: (1) هل يملك النيتروجين من نهر جيمس والروافد الأخرى المغذية لخليج جيسبيك تأثيراً على الخليج (والمحار – وربما السلطعونات)؟ (2) هل يوجد دليل على وجود مستوى منخفض من الأوكسجين المذاب في أسفل خليج جيسبيك ؟ (3) رغم أن هناك تراكيز للنيتروجين في أسفل نهر جيمس، ولكن هل هناك مستويات مرتفعة مصاحبة من البلانكتون (كلوروفيل "أ")؟ (4) هل صحيح أن إزالة النيتروجين من أجل إزالة النيتروجين لن تكون بذات فوائد بيئية، وستكون مكلفةً جداً، وسوف تتسبب في صرف موارد قيمة عن المشاكل البيئية المهمة ؟

لماذا انخفض تعداد المحار والسلطعونات؟ تنص إحدى النظريات على أن الروافد التي تصب في أسفل خليج جيسبيك (ويشمل ذلك نهر جيمس) تحمل ملايين الأطنان من الرسوبيات إلى الخليج، وتزيد من مشكلة تعكر الخليج. وعندما تزيد عكورة المياه، فإن المحار يفعل ما بوسعه لترشيح الرسوبيات ولكن أعداده تقل في النهاية ويختفي في هوة النسيان. وينتظر السلطعونات مصير مماثل.لا تسمح المياه ذات العكورة العالية لأشعة الشمس باختراق المياه العكرة. وبدون أشعة الشمس، لا تستطيع أعشاب البحر أن تزدهر. وبدون أعشاب البحر تضمحل أعداد السلطعونات.

هل هذه هي الإجابة ؟ هل ترتبط مشكلة أسفل خليج جيسبيك وتعداد محارها، وساحله الشرقي، وتعداد سلطعوناته بالعكورة ؟هناك أمر واحد مؤكد. نحتاج أن

نأخذ خطوة إلى الوراء ونعيد تقييم حجم المشكلة قبل أن نقفز إلى قرارات غير مدروسة لا تستند على شيء سوى بعض الأفكار التي تبدو"علمية" وتعطي شعوراً "جيداً". يمكن لإجراء تقييم حجم المشكلة أن ينجز فقط عبر تحليل علمي موثوق، ورصين، ودقيق.

والأمر الواضح، أننا نحتاج إلى أن نوقف تلويث أجسام المياه السطحية.ولكن، ألا ينبغي لنا أن نبدل موقفنا البالي والمحبط أننا "يجب أن نبدأ في موقع ما" بفهم عام جيد وعلم موثوق؟

والخلاصة هي: لا ينبغي لنا أن نفعل أي شيء لبيئتنا حتى يعضد العلم تدخلنا – وإستثمارنا.

وكحاشية لدراسة الحالة هذه، نشير إلى أنه ومنذ العام 1984 وحتى العام 1996، وبسبب التخفيضات التي حدثت في الكميات المترسبة من المغذيات والرسوبيات في أسفل خليج نهر جيسبيك، عادت أعشاب خليج جيسبيك من جديد.هل ستعود مجتمعات المحار والسلطعونات ؟ الوقت فقط هوالذي سيحدد.

التلوث الحراري
Thermal Pollution

بتعبيرات بسيطة، يحدث التلوث الحراري حينما تُرجع الصناعة مياهاً حارة إلى مصدرها. يتطلب توليد الكهرباء على مستوى كبير كميات ضخمة من المياه لأغراض التبريد – وهو الماء الذي يُسحب في بعض الأحيان من البحيرات، والأنهار، والمجاري المائية. تولد منشآت الطاقة التي تحرق الوقود الأحفوري والتي تستخدم الطاقة النووية كميات كبيرة من النفايات الحرارية، تزال بعض هذه الحرارة عن طريق تدوير المياه الباردة خلال أو عبر معدات توليد الطاقة الحارة. ينقل هذا الأمر الحرارة إلى الماء، مما يرفع درجة حرارتها.وعندما تتحرر هذه المياه الحارة، فقد يكون لها آثار ضارة على الأنظمة البيئية المائية.

وعلى سبيل المثال، يمكن للمياه الملوثة حرارياً أن تقلل ذوبانية الأوكسجين، وأن تقتل بعض أنواع الأسماك، وتزيد من عرضة بعض الكائنات المائية للعدوى بالطفيليات، والمرض، والسموم الكيميائية. كما يميل التلوث الحراري بشكل عام إلى الإخلال بالأنظمة البيئية المائية ويعجل من التغييرات في تكوينها. تعد المياه الساكنة – البحيرات والخلجان – معرضة بشكل خاص للتلوث الحراري.

مغذيات النباتات

Plant Nutrients

تحد كمية النيتروجين والفوسفور في النظام المائي عادة من نموالنباتات المائية والطحالب. وفي الغاب توجد هذه المغذيات النباتية بكميات كبيرة في مياه المجاري، وتوجد أملاح الفوسفات في بعض المنظفات، وفي الجريان السطحي في المناطق الزراعية والحضرية. وعندما توجد بكميات كبيرة في أنظمة مائية ساكنة (البحيرات، والخلجان، والبرك)، فإن هذه المغذيات تحفز عملية تكاثر ضخمة، وسريعة للطحالب. تعطي الطحالب لوناً أخضر للمياه وتكون طبقة رغوية على السطح والصخور القريبة من الشاطئ. وعندما تموت هذه الطحالب وتتحلل، يضاف المزيد من المغذيات للنظام المائي، مما يزيد من الطلب الحيوي على الأوكسجين.

ناقشنا في دراسة الحالة3.8، جزءاً من المشكلة التي تنشأ عندما تجد كمية كبيرة من الملوثات الرسوبية الحاملة للمغذيات (مثل الفوسفور والنترات) طريقها إلى أنظمتنا المائية. لاحظ أن الكميات الزائدة من مغذيات النباتات في نظام مائي ما لا تؤثر فقط على مساكن المحار والسلطعونات، ولكنها تؤثر، بالطبع، على النظام المائي بكامله – وعلى الصحة العامة. لا تمثل كمية زائدة من الفوسفور في نظام مائي، عموماً، مشكلة صحية للبشر، ولكن كمية زائدة من

النيتروجين، في شكل نترات، قد تمثل مشكلة. توجد النترات في الأسمدة والنفايات العضوية من الماشية وحظائر التسمين، وبسبب ذوبانها في الماء، فإن النترات لا ترتبط بحبيبات التربة، الأمر الذي يجعلها ذات حركية عالية. وبسبب حركيتها، فإن النترات تنجرف إلى المياه السطحية، وتتسرب إلى المياه الجوفية.تمثل النترات في مياه الشرب مشكلة صحية كبيرة للمجتمعات البشرية، وبالخصوص، للأطفال الرضع. فعندما تصل النترات إلى القناة الهضمية للأطفال الرضع، فإنها تؤكسد الهيموغلوبين (**hemoglobin**) في الدم، مما يجعله غير قادر على حمل الأوكسجين. تعرف هذه الحالة بالميثموغلوبينيميا، وقد تسبب ضرراً للدماغ أوالوفاة.

المواد الدائمة

Persistant Substances

أحد أنواع التلوث المائي الذي يتجاهله الناس (أو كان) وعادة ما يتم تجاهله هوتلوث **المواد الدائمة**. في هذا العصر الحديث،تستمر بعض المواد (منتجات العبقرية العلمية والهندسية) في البقاء بشكل دائم،فهي في العادة لا تتغير أوتتحلل لمواد غير ضارة. تشمل هذه المواد الدائمة المبيدات الحشرية من نوع د ي دي تي والكلوردان، ومعادن (الزئبق، على سبيل المثال)، والمواد العضوية مثل مادة بي سي بي.لا تتحلل هذه المواد بسهولة وتميل لأن تتضخم في السلسلة الغذائية.وتبعا لذلك، تعاني الكائنات الحية في المستويات الغذائية العليا (صقور الشاهين،والنسور الصلعاء، والجوارح الأخرى، على سبيل المثال)، من أكثر الآثار الخطرة لهذه المواد غير القابلة للتحلل الحيوي، والمواد الدائمة.

وبالإضافة إلى المواد الكيميائية الدائمة التي ناقشناها للتو، فهناك مجموعة أخرى من المواد الدائمة التي تعيث فسادا في أنظمتنا المائية والحياة البرية وهي في طريق سريع لاكتساب سمعة سيئة كمشكلة بيئية على مستوى عالمي : وهي البلاستيك. تملك حلقات حزم البلاستيك السداسية، وأكياس البلاستيك،

والخيوط أحادية الشعيرات مدى أعمار متوقع يصل إلى مئات السنين – فهي تتطلب مئات السنين، حرفياً، حتى تتحلل. وفي الأنظمة البحرية، حيث يتم التخلص من البلاستيك بكميات قياسية، فإن المشكلة مستعصية بشكل خاص. يتم الخلط بين الأكياس والبالونات وبين الأطعمة فيتم إبتلاعها من قبل الحيوانات البحرية، فتتشابك في معداتها وأمعاؤها – وتقتلها ببطء. تقع الكائنات البحرية في شراك الخيوط الأحادية الشعيرات وحلقات حزم البلاستيك السداسية، مما يفقدها القدرة على الحرك الشيء الذي يؤدي في النهاية إلى موتها. وعلى مستوى أكبر، تتبع صناعة صيد الأسماك الممارسة القاتلة التي تقضي بقطع شبكات الصيد العالقة، وهو الأمر الذي يسمح لمئات الياردات من شباك الصيد أن تبقى في المحيط. تصطاد وتُغرِق هذه الشبكات الشبحية، أعداداً لا حصر لها من الثدييات والكائنات الأخرى على مستوى كبير.

المواد المشعة

Radioactive Substances

المواد المشعة هي مجموعة أخرى من الملوثات التي تؤثر على الأنظمة البيئية المائية. يحدث نشاط إشعاعي طبيعي في البيئة (الصخور والترب)، ولكن، يحدث التلوث الإشعاعي من المواد المشعة. والمصادر الثلاثة الرئيسية للتلوث الإشعاعي هي منشآت الطاقة الإشعاعية، ومنشآت توليد الطاقة من الفحم، والإنفجارات النووية.يمكن للتلوث الإشعاعي أن يسبب عيوباً وراثية وسرطانات. وللتحكم في التلوث الإشعاعي، لابد من تشريعات صارمة لاستخدام منشآت الطاقة النووية وتحكم صارم في معالجة وشحن الوقود النووي.

مصادر تلوث التربة
Sources of Soil Pollution

تاريخياً،وفي حالة التخلص من النفايات الصلبة، هناك مقولة شائعة: " لم أعد أريدها. خذها للنهر وتخلص منها." لا عجب أن أنظمة نهرنا ومجارينا المائية قد تلوثت بمرور السنين. أنظر إلى السجلات التاريخية لنهر التايمز في لندن والمجتمعات التي نمت على ضفتيه لتفهم المشكلة المركبة للتخلص من النفايات الصلبة والتلوث النهري.

ورغم أن المستوطنات البشرية المبكرة كانت تقع على طول مجرى النهر (لأسباب عديدة)، فما كل المعسكرات، والمستوطنات، والمجتمعات كانت بالقرب من الأنهار أوالأنظمة المائية الأخرى. ففي النهاية، ومع نمو المجتمعات وتحسن المواصلات، تكونت مراكز المجتمعات في مناطق بعيدة من أنظمة المياه بشكل عام. ومع ذلك هناك شيء واحد لم يتغير، فقد استمر البشر في إنتاج النفايات و"المهملات".لم توفر هذه المناطق البعيدة، رغم ذلك، الراحة التي يوفرها جسم مائي للتخلص من النفايات، كان لابد من رمي هذه النفايات في مكان ما. وكانت التربة هذا المكان.

أصبحت الأرض موقع رمي ملائم للنفايات، ويشمل ذلك النفايات التي أزيلت من الهواء والماء. وتاريخياً، وبدون مفاجأة، أصبحت، وبقيت أنشطة مثل التخزين والتخلص غير الملائم من المواد الكيميائية، مشكلة خطيرة. أين ينتهي المطاف بنواتج النفايات، عندما تستخدم الأرض للتخلص من النفايات؟ وما الذي سيتأثر بهذه الممارسات للتخلص من النفايات؟والإجابة هي نفسها ذات الإجابة الواضحة: التربة.

تتعرض التربة للتلوث بمعدل متزايد، وذلك في الوقت الذي يشهد فيه أي قطر في العالم زيادة مستمرة في كمية ونوع المواد التي يتم التخلص منها في مكبات النفايات ومواقع التخلص من النفايات الأخرى. وبسبب المعدل المتسارع لعملية

التخلص من النفايات في التربة، فقد أصبحت التربة ذاتها من نواتج النفايات التي تحتاج أن نتخلص منها بشكل ملائم. وتفاقمت هذه الحالة بسبب محدودية التقانيات المتاحة حالياً لمعالجة الترابات الملوثة، وهي قضية مهمة سنسهب فيها بتفاصيل أكثر لاحقاً في هذا الكتاب.

لاحظ أن التخلص من مواد النفايات الصلبة ليس العامل المسبب الوحيد لتلوث التربة. ينتج تلوث التربة أيضاً من بعض الممارسات التي تجري من الجهات الزراعية والصناعية على مستوى العالم.وتشمل ممارسات التنقيب، والإنتاج، والتعدين، والصناعات النووية. ومن دون سؤال، تؤثر ملوثات البترول على أكبر عدد من المواقع، والمجموع الكلي لحجم المواد المتأثرة.

وعلى الرغم من أنها عادة ما تكون ذات حجم وحدة صغير،تعد الخزانات الأرضية ملوثاً آخر كبير الحجم للتربة. وفي الواقع، عادة ما يرتبط تلوث البترول بالخزانات الأرضية. تم تثبيت عدة ملايين من الخزانات الأرضية في الأعوام ما بين 1950 – 1970. تقدر الوكالة الأمريكية لحماية البيئة أنه من بين ما يقدر بأكثر من 2.5 مليون خزان أرضي مثبتة عبر الولايات المتحدة، إن أكثر من 400000 منها قد سربت – أولا زالت تسرب – الهيدركربونات البترولية. وتقريباً فإن آلاف الخزانات الأرضية تبقى غير مسجلة، وتظل تأثيراتها المنفردة على التربة والتربة السطحية غير معروفة.

دراسة حالة Case Study 4.8

قوانين التلوث والاستعداد العسكري

Pollution Rules and Military Preparedness

يقول بعض المسؤولين العسكريين إن بعض القوانين البيئية تعيق التدريبات وتضر الجاهزية القتالية، لذا فهم ينشدون إعفاءات واسعة من اللوائح البيئية. وهم يعترضون على القوانين التي يحتمل أن تحد من المناورات في بعض

المواقع خلال مواسم التزاوج أوبناء الأعشاش أوتلك التي تحدد الشواطئ المستخدمة في تدريبات الهبوط.

يزعم أولئك المسؤولون أنهم يريدون توازناً بين متطلبات التدريب العسكري و الحماية البيئية. ولكن وبحسب مكتب المراجع العام، فإن تقارير الجاهزية لا تدعم المزاعم القائلة بأن القوانين البيئية تضر بالجاهزية. لم يستطع هؤلاء المسؤولون أن يعطوا تقيّما كمياً عن هذه الآثار الضارة بشكل نظامي، بحسب أقوال مكتب المراجع العام، ولا حتى يملكون جرداً بكل النطاقات التي يتدربون عليها.

يريد مكتب المراجع العام، بصفته الذراع الإستقصائية للكونجرس، أن يعرف لماذا يجب أن تسمح قضايا الجاهزية للبنتاغون بأن يضيق على التنظيف البيئي في حين أن أنشطته تلوث التربة والمياه، وتضر بمواطن الحياة البرية. وما دامت القوانين البيئية تسمح مسبقاً بإعفاءات مبنية على حالات فردية من أجل مصلحة الأمن القومي، لذا لا ينبغي كتابة إعفاءات عريضة في شكل قانون ما لم تقدم قضية قوية في صفه.(" قوانين التلوث لا تضر بالجاهزية العسكرية،" شارلوت أوبزيرفر إيديتوريال،27 مارس، 2003).

إلى جانب الهيدركربونات البترولية، هناك العديد من المواد الكيميائية المسؤولة عن تلوث التربة. رصدت لجنة إيكهارت في عام 1979 في أكبر مسح لشركات التصنيع الكيميائية أكثر من 16 مليون طناً من النفايات المولّدة عضوياً والمتخلص منها حتى ذلك الوقت. ومن هذا المجموع، فإن حوالي 10 مليون طن منها كانت غير معالجة (في البرك، وآبار الحقن، والأهوار، ومكبات النفايات). في حين رُمّدت حوالي 0.5 مليون طن، وأقل من 0.5 مليون طن قد أعيد إستخدامها أوإعادة تدويرها. تمثل العمليات التصنيعية للنسبة الأكبر من النفايات الخطرة المنتجة.

تتسبب حقول النفط في نسبة كبيرة من تلوث التربة بالهيدروكربونات. وتتشمل

مصادر تلوث التربة آبار النفط، والحفر ومقالب القمامة،والمستنقعات، إلى جانب التلوث الراشح من حاويات التخزين فوق سطح الأرض، والمستودعات، ومحطات الضخ، و من رش حفر الفئران، والخزانات الأرضية، والمحولات، وسراديب الآبار، و أي تسرب أوانسكاب عشوائي.

ومع ذلك، إن مواقع حقول النفط ليست الملاذ الوحيد. فالعديد من منشآت المعالجة لأحجام عالية من البترول، وتشمل المصافي، والنهايات الطرفية، ودهاليز خطوط الأنابيب الموجودة قرب حقول الإنتاج والمناطق السكنية. ساهمت كل هذه المواقع، في الماضي وفي الحاضر، في الحجم الكلي للتربة الملوثة.

تعد عملية تسخير الطاقة الحرارية الأرضية (geothermal power) عملية أخرى يوجد فيها علاقة حميمة بين إستخدام الموقع واحتمال حدوث الآثار البيئية الضارة. تشمل عمليات الطاقة الحرارية الأرضية إستخدام الطاقة (في شكل بخار أوماء ذودرجة حرارة عالية) من باطن الأرض وتوصل إلى سطح الأرض في مناطق توجد فيها صخور نارية في حالة مصهورة أو مصهورة جزئياً.في العادة، تتكون منشآت الطاقة الحرارية الأرضية من منشأة طاقة، وخزانات/ وبرك حفظ وتخزين المياه المالحة، ومستنقعات الحفر، وحقول الراشح. تعتبر المياه المالحة (brine) ومناجم الرصاص (lead–mines) هما المكونان الأخطر المرتبطان بعمليات الطاقة الحرارية الأرضية.

مورست **عمليات تحويل الفحم إلى غازات** (coal gasification processes) لعدد من السنوات في عدة مواقع عبر الولايات المتحدة.تنتج هذه المنشآت الصناعية عادة قطراناً يحتوي على مجموعة واسعة من المركبات العضوية وغير العضوية وذلك باستخدام العمليات المختلفة لتحويل الفحم إلى غاز. ساهمت هذه الأنواع من القطران في حجم كبير من تلوث التربة، والمياه الجوفية، والمياه السطحية.

تعد **نفايات التعدين –mining wastes–** (النفايات من التعدين، والطحن، والصهر، وتنقية الخام والمعادن) مساهماً رئيسياً في تلوث التربة.تتعلق المشاكل البيئية أساساً بالتخلص من نفايات التعدين: التربة الفوقية، ونفايات التعدين (بقايا معالجة الخام). وإذا ما تراكمت في شكل أكوام، فإن قطرات المطر ستسرب من خلال نفايات المعادن، الغنية بالمعادن الثقيلة والمواد الكيميائية، وستكون نواتج ثانوية ضارة مثل حمض الكبريتيك. يتدفق الجريان السطحي لهذا الحمض إلى الأنهار، والمجاري المائية، والتربات، ومن ثم يصل إلى المياه الجوفية.

ملخص الفصل
Chapter Summary

سمحت التطورات التكنولوجية لثقافتنا العصرية أن تحقق أهدافا لا تصدق – وفي طريقها إلى ذلك خلقت مشاكل كبيرة نحتاج إلى أن نواجهها. ولكن توفر لنا التقانة التي صنعناها طرقاً لحل المشاكل التي خلقناها. وفي حين نرسم صورة قاتمة عن حالة بيئتنا، فإن مهندسي البيئة، والعلماء، و التقانيين – إلى جانب دعاة البيئة "المدنيين" المهتمين (وحتى بعض السياسيين) – يدركون ما المطلوب فعله، ويعملون لتحسين الوضع البيئي.

أسئلة المناقشة والمشكلات
Discussion Questions and Problems

- إذا كانت الطبيعة تسبب تلوثاً أكثر من البشر، فلماذا ينبغي أن نهتم بالتلوث الناتج من البشر ؟ تلوث المياه ؟ وتلوث التربة ؟
- ما هي الأهمية الجوية لانبعاثات غاز أول أوكسيد الكربون الناتج من الأنشطة البشرية ؟
- ما الذي يفرق بين سحب الدخان والضباب ؟

- ما هي العمليات التي تقود إلى تكون حمض الكبريتيك ومركبات الكبريت الأخرى في الغلاف الجوي ؟
- صف طريقتين يقوم المطر من خلالهما بإزالة الملوثات من الجو. وما هما المصبان الرئيسيان لهذه الملوثات.
- ما الفرق بين مفهوم المطر الحمضي، والترسب الحمضي، والترسيب الحمضي ؟
- كيف يؤثر الترسب الحمضي على بيئة بحيرات المياه العذبة.

مواضيع مقترحة للبحث والمشاريع
Suggested Research Topics and Projects

- أجرِ بحثاً عن التطورات في التقانة التي سببت أويمكن أن تسبب معظم التغيرات المهمة في بيئتنا. يمكن عمل هذا للتطورات الحديثة – أويمكن أن تتفحص التطورات السابقة – التغيرات التي تعودنا عليها. تعد الحواسب الإلكترونية تقنية حديثة. ولكن عملية الطباعة ليست كذلك – ومع ذلك فقد أحدثت تغيراً لا يصدق.
- أجرِ بحثاً عن الضرر على الصحة أوالبيئة من تلوث الهواء.
- أجرِ بحثاً عن تاريخ الأوزون كمشكلة بيئية.
- تفحص تاريخ التسمم بالرصاص من الهواء والمياه.
- تفحص دور الإعلام في مشاكل خليج جيسبيك.
- تفحص مطامر النفايات ومشكلة المواد الدائمة.

المراجع المثبتة
Cited References

PEDCO. *PEDCO Analysis of Eckhardt Committee Survey for Chemical Manufacturer's Association*. Washington, D.C.: PEDCO Environmental Inc., 1979.

Pierce, J. J., et al. *Environmental Pollution and Control*. 4th ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 1988.

المراجع المقترحة

Suggested References

Adams, D. D., and W. P. Page, eds. *Acidic Deposition—Environmental, Economic and Policy Issues*. New York: Plenum Publishers, 1985.

Alexander, M. *Biodegradation and Bioremediation*. San Diego: Academic, 1994.

Arms, K. *Environmental Science*. 2nd ed. Saddle Brook, N.J.: HBJ College and School Division, 1994.

Beaty, C. B. "The Causes of Glaciation." *American Science* 66 (1978): 452–59.

Blumberg, L., and R. Gottieb. *War on Waste—Can America Win Its Battle with Garbage?* Washington, D.C.: Island Press, 1989, 301.

Bridgman, H. A. *Global Air Pollution*. New York: Wiley, 1994.

Bowne, N. E. "Atmospheric Dispersion." In *Handbook of Air Pollution Technology*, ed. S. Calvert and H. Englund, 859–93. New York: Wiley, 1984.

Conner, H. R. *Chemical Fixation and Solidification of Hazardous Waste*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990, 692.

Elsom, D. M. *Atmospheric Pollution—A Global Problem*. 2nd ed. Oxford: Blackwell, 1992.

EPA. *Air Quality Criteria for Particulate Matter, Vol. I*. EPA/600/AP-95/001a, 1995.

———. *Air Quality Criteria for Particulate Matter, Vol. III*. EPA/600/AP-95/001c, 1995.

———. *Air Quality Criteria for Particulate Matter and Sulfur Oxides, Vol. II*. EPA/600/8-82-029a-c, 1982.

———. *Environmental Progress and Challenges*, August 1988.

———. *EPA Journal* 17 (January/February 1991): 1.

———. *National Air Pollutant Emission Trends, 1900–1993*. EPA/454/R-94-027, 1994.

Gates, D. M. *Climate Change and Its Biological Consequences*. Sunderland, Mass.: Sinuer Associates, 1993.

Harrision, R. M., ed. *Pollution—Causes, Effects and Control*. Cambridge: Royal Society of Chemistry, Thomas Graham House, 1990.

Jackson, A. R., and J. M. Jackson. *Environmental Science: The Natural Environment and Human Impact*. New York: Longman, 1996.

Kerr, R. A. "Global Pollution: Is Arctic Haze Actually Industrial Smog?" *Science* 205 (1979): 290–93.

Lamb, B. "Gaseous Pollutant Characteristics." In *Handbook of Air Pollution Technology*, ed. S. Calvert and H. Englund, 65–96. New York: Wiley, 1984

Moore, J. W., and S. Ramamoorthy. *Heavy Metals in Natural Waters*. New York: Springer-Verlag, 1984.

Perkins, H. C. *Air Pollution*. New York: McGraw-Hill, 1974.

Rizzo, J. A., ed. *Underground Storage Tank Management: A Practical Guide*. 4th ed. Rockville, Md.: Government Institutes, 1990.

Rodriguez, J. M. "Probing Atmospheric Ozone." *Science* 261 (1989): 1128–29.

Seinfeld, J. H. *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*. New York: Wiley, 1986.

Stern, A. C., and H. C. Wohlers. *Fundamentals of Air Pollution*. New York: Academic, 1984.

Testa, S. M. *Geological Aspects of Hazardous Waste Management*. Boca Raton, Fla.: CRC/Lewis Publishers, 1994, 537.

الجزء الثاني

جودة الهواء

الفصل التاسع

الجو – أساسيات جودة الهواء

The Atmosphere – Basic Air Quality

الهواء ضروري، سواءً شخصته على أنه، أو لمسة لطيفة على جلد ناعم، أو ريح دافئة، أو حتى ريح هائجة، أو زوبعة، أو عاصفة رعدية، أو إعصار. الهواء يغلفنا. ويحيط بنا. ونستنشقه مجبرين، فأجسامنا تنمو مع كل نفس، وتنهار تماماً من دونه. الأرض مغطاة حرفياً بالهواء الذي تعتمد عليه جميع الكائنات الحية التي نعرفها، تقريباً. والهواء يوجد بشكل طبيعي في كل أرجاء الأرض – فالسماء تبدأ حيث تنتهي الأرض.

الهواء فريد من الناحية العلمية. فهذا الخليط من الغازات الشائعة والنادرة الذي نتنفسه جعل الحياة أمراً ممكناً. والهواء، مثله مثل الماء، هو المركب الكيميائي الوحيد الذي يوجد طبيعياً ويؤثر على وجود الكائنات الحية بعدد من الطرق.

عادة ما يجري الربط بين الهواء وكل الأمور الخيرة على ظهر الأرض. فنحن لا نستطيع تخيل الحياة من دون تنفس – لابد لنا من أن نطفئ احتياجنا الدائم للهواء. يحافظ الهواء على النمو. وهو يتسبب في الحركيات الدقيقة والظاهرة للجو التي توفر لنا أنماط الطقس المتغيرة. ولكن هل يمكن لنا أن نقول حقاُ، وبشكل أكيد، أن الهواء خير فقط؟ لا. لا نستطيع ذلك.لا شيء – على الإطلاق – في مأمن من الهواء.

الهواء عديم الرائحة، ولا لون له، ولا طعم. ونادراً ما نتوقف لنفكر فيه، ما لم يذكرنا به شيء. ولكنه يغطي الأرض بالكامل. ولا شيء يفلت من لمسة الهواء، الهواء هو الحياة – والحياة والهواء أمران متلازمان لا ينفصلان.

في بعض الأحيان نعتبر الهواء هو الحياة نفسها – خصوصاً عندما نضع في أعتبارنا أن الهواء يمكن أن يكون نعمة للحياة – أو نقمة عليها– فهو قادر على دعم أو تدمير الحياة كلها كما نعرف فالهواء، سواء دفع شفرات مروحة

طاحونة هواء، أو حرك سحباً، أو أثار حبات غبار، ورفع ريشة، وسواء رفع الطير محلقاً في الأعالي، أو جلب لنا نسيمه رائحة حلوة لشجر الغاردينيا، والخزامى، واللّيلك، والزهور، أو حمل البذور إلى أرض خصبة، وسواءً جعل الماء يتلاطم على ضفة شاطئ بعيد، أو ساق الرياح الكاشطة لتنحت الجبال حتى تصبح رمالاً، أو لتطرق بقبضتها القوية فتسوى بسطح الأرض كل ما يعترض طريقها – من مدن، وغابات، ومحاصيل وبشر، فإن الهواء ضروري للحياة، بل إن الهواء هو الحياة. نعم الهواء ضروري.

يعطينا الهواء نعمة التواصل. من الصرخة الأولى وحتى النفس الأخير، إن أصواتنا تسافر على تيار من الهواء. فالهواء يحمل الصوت. هل يمكن لنا أن نسمع اجمل من صوت الرياح وهي تمر عبر أغصان شجر الصنوبر؟ وأن نتوفز أو نختلج حين سماع صوت الرياح وهي تصطدم بمصراع قديم؟

يحمل الهواء الدفء. ويحمل الهواء البرد.

بدل الهواء ضروري.

يعتمد وجودنا ذاته على الهواء، ولكننا مع هذا كله نخلق تناقضاً في سياق فهمنا للهواء ودوره في الحياة. فلماذا نسيء إستخدام شيء بهذه الأهمية – شيء نحتاجه لكي نبقى على قيد الحياة – شيء لا يمكن أن نعيش من دونه؟ فلماذا نفسد جوهر حياتنا؟ لماذا نعتدي على بيئتنا بمعدل يفوق في سرعته سرعة فهمنا للعواقب التي تنتج عن ذلك؟ لماذا؟ الآن الهواء موجود بكثافة في كل مكان. كان دائما لدينا ما يكفي منه. هذا صحيح؟ ولكن دعونا نأمل أن يظل الحال كذلك. دعونا نأمل ألا ندمر الهواء الذي نتنفس. ودعونا نأمل أن التقانة ستساند جهودنا لإعادة جودة الهواء الذي نحتاج لنظل على قيد الحياة.

نحتاج الهواء كما ينبغي أن يكون: نقياً، و صحياً، وذا رائحة طيبة، في خليط مثالي للعناصر التي تعودنا على إستنشاقها، والضرورية لوجودنا. الهواء جزء مما يسمى تأثير غازات الدفيئة أو البيت الزجاجي، وجزء من الإحتباس

الحراري، وجزء من نضوب الأوزون، ولا يمكن للهواء أن يكون حضوره سلبياً في هذه العمليات ولا في الضرر الذي نتسبب فيه – فالهواء وحده لا يسبب الضرر ولا يمنعه.

فهل يتوجب علينا إحداث هذا الضرر؟

أهداف الفصل

Chapter Objectives

بعد دراسة هذا الفصل يجب أن تكون قادراً على أن:

- تعرّف، وتصف، وتناقش التركيب الكيميائي للغلاف الجوي وتتعرف على والغازات المكوّنة لها وتحدد كميتها.
- تعرّف، وتصف، وتناقش تركيب الغلاف الجوي، والأدوار التي يقوم بها الضغط، والكثافة، والحرارة.
- تعرّف، وتصف، وتناقش كيفية تأثير الإشعاع الشمسي والحراري على الأحوال الجوية.
- تعرّف الوضاءة وتناقش دورها في توازن الإشعاع الأرضي، وكيفية تأثيرها على متوسط درجة الحرارة السنوية.
- تتعرّف على العناصر التي تؤثر على توازن حرارة الأرض، وتصف وتناقش كيف يؤثر نقل الطاقة على ظروف الطقس والمناخ.
- تتعرّف إلى أسباب الحركة الجوية، وتصف وتناقش كيف تقود هذه الأسباب إلى حركة الهواء على المقاييس الكبيرة والصغيرة.
- تصف كيفية تأثر الرياح المحلية بالظروف الجغرافية المحلية.
- تصف كيفية تأثر جودة الهواء بتأثير البشر على البيئة.

خطة الفصل

Chapter Outline

- مناقشة :الغلاف الجوي بوصفه محيطاً من الهواء.
- مناقشة وتعريف: التركيب الكيميائي للغلاف الجوي.
- مناقشة وتعريف: الكثافة والضغط الجويين.
- مناقشة وتعريف: الإشعاع الشمسي والحراري.
- مناقشة وتعريف: الوضاءة، و تأثيرها على متوسط درجات الحرارة السنوية.
- مناقشة وتعريف: توازن حرارة الأرض وكيفية الحفاظ على متوسط درجة حرارة السطح.
- مناقشة وتعريف: الغلاف الجوي في حركة دائبة.
- مناقشة وتعريف: أسباب الحركة الجوية، الجاذبية، والكثافة، وقوة الضغط، والدورة الحرارية.
- مناقشة وتعريف: حركة الهواء على مستوى محلي وعالمي.
- مناقشة وتعريف: جودة الهواء الأساسية المتغيرة.

المصطلحات الرئيسية Key Terms

الرياح التأفقية	advance winds	الدفق النفاث	jet stream
الهواء	air	الميزوسفير	mesosphere
تيار الهواء	air current	الأوكسجين	oxygen
الوضاءة	albedo	الضغط	pressure
الغلاف الجوي	atmosphere	قوة فرق الضغط	pressure gradient force
ثاني أوكسيد الكربون	carbon dioxide	الإشعاع	radiation

stratosphere	الستراتوسفير	climate	المناخ
thermal circulation	الدورة الحرارية	conduction	التوصيل
thermal radiation	الإشعاع الحراري	convection	الحمل
thermosphere	الثرموسفير	density	الكثافة
troposphere	التروبوسفير	greenhouse effect	تأثير غازات الدفيئة (البيت الزجاجي)
water vapour	بخار الماء	gravity	الجاذبية
weather	الطقس	heat balance	توازن الحرارة
wind	الرياح	heat index	مؤشر الحرارة
isobar	خطوط تساوي الضغط	wind chill factor	عامل قشعريرة الرياح

مقدمة
Introduction

في الماضي غير البعيد، عندما كان عمال المناجم يقلقون على جودة الهواء في المنجم، كانوا يصطحبون معهم عصافير الكناري – ليس من أجل الصحبة أو من أجل التغريد، بل مراقبة اللحظة التي تتوقف فيها هذه العصافير عن التغريد. حينها كانوا يعرفون أن الوقت قد حان لمغادرة المنجم، وذلك لأن الهواء يحتوي على غاز الميثان القاتل، والذي قد يشتعل أو ينفجر.

يستخدم علماء البيئة (وغيرهم) اليوم أجهزة إلكترونية لمراقبة جودة الهواء. تعد هذه الأجهزة موثوقة، ودقيقة، وغالباً ما تكون مكلفةً أيضاً.

ومرة أخري توفر الطبيعة وسيلتها الخاصة لمراقبة جودة الهواء. فعلى سبيل المثال، يمكن لكائن حي بدائي مثل الحزاز أن ينذر بوجود هواء رديئ. فالحزاز

وهو خليط من الفطريات والطحالب، يداس عليه بسهولة من قبل الحيوانات والمشاة. ينمو الحزاز في أي مكان تقريباً، وهو بلا سيقان، ولا جذور، أو أوراق، ولكنه يعتمد على مغذيات يحصل عليها من الهواء، لذا، فهو حساس جداً لتلوث الهواء، يجعل منه مؤشراً مبكراً وقيّماً لجودة الهواء. وقد استخدمه العلماء كمؤشر حيوي لعقود، ويشمل ذلك أيضاً استخدامه في تقييم التداعيات النووية لإنفجار تشيرنوبل في عام 1986.

يمكن أن تستخدم الحزاز في اقتفاء آثار التلوث، وذلك لأنه يعيش لفترة طويلة، وينتشر بصورة واسعة، ويصمد في مكانه طويلاً. لذا يمكنه أن يحل محل محطات المراقبة الإلكترونية التي تكلف ألوفاً من الدولارات. ولكن وكما هو الحال مع كل أشكال التلوث، فإن الوقاية خير من العلاج.

عندما نقوم بمناقشة شاملة للهواء، فإن المناقشة تبدأ وتنتهي بالغلاف الجوي للأرض. فالغلاف الجوي فريد من نوعه. وعادة ما يوصف على أنه حجاب رقيق، وغلاف، وغشاء، وغطاء، أو بحر غير مرئي من الغازات التي تحيط بالكوكب، ومن الأرجح أن الوصف الأكثر دقة للغلاف الجوي أنه محيط من الهواء. هذا المحيط الشاسع، والدائب الحركة، وشديد الإختلاف عن أوساط الماء والتربة. ومهما كانت الطريقة التي نصفه بها، فإن مجموعة هائلة ومتنوعة من الكائنات الحية تتشارك العيش في وجود الغلاف الجوي – فهو ضروري للحياة نفسها. يتكون الغلاف الجوي من غازات غير مرئية وبخار ماء وقد بقي كما هو في موقعه بفعل قوة الجاذبية، ودوران الكرة الأرضية.

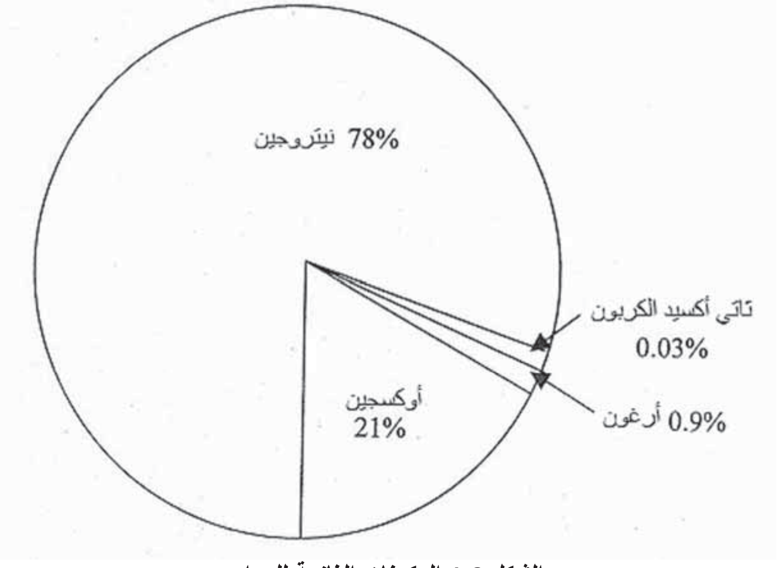
سنغطي في هذا الفصل المفاهيم الضرورية للحصول على فهم أساسي لغلاف الأرض الجوي، والذي يمكننا بدوره أن نفهم بشكل أفضل التأثير البشري عليه. كما نناقش أيضاً المتغيرات الرئيسية المستخدمة في قياس جودة الهواء، وهو المتغير الأكثر أهمية لمعظمنا. فهل من الممكن أن يكون لنا إهتمام أعظم من

المحافظة على جودة الهواء للحفاظ على الحياة؟ إن أي فهم شامل لعلم البيئة يتطلب أولاً معرفة الغلاف الجوي.

الغلاف الجوي

The Atmosphere

نحن نعيش في قاع محيط حقيقي من الهواء. يعد هذا المحيط الهائج والدائم الحركة، والذي يمتد لأعلى إلى ما يقارب 1000 ميل، مختلفاً جداً عن المحيطات المائية التي تغطي معظم سطح الأرض. يعيش البشر والكائنات الحية الأخرى في قاع غلافنا الجوي atmosphere، (من الكلمة اليونانية atmos، وتعني بخار، والكلمة اليونانية spharia التي وتعني كرة)، ويختفي وجودهم باختفائه أو تلفه.



الشكل 1.9 المكونات الغازية للهواء

الغلاف الجوي:التركيب الكيميائي

The Atmosphere: Chemical Composition

يحوي **الهواء** الجوي (atmospheric air) خليطاً من عدة غازات، كما يحمل أيضا عدداً من أبخره وقطيرات السوائل المعلقة، والجزيئات الصلبة. ويمثل

غازان فقط من غازاته 99% من حجم الهواء قرب الأرض. من الشكل 1.9، يمكن أن نرى أن الهواء يتكون أساساً من خليط ثابت تقريباً من (78%) نيتروجين و (21%) أوكسجين، أي أن كمية النيتروجين تقارب أربع مرات كمية الأوكسجين. أما المكونات الرئيسية الأخرى فهي الأرغون وثاني أو كسيد الكربون.

هذا وتوجد كميات ضئيلة من عديد من الغازات الأخرى، إلى جانب الغبار وحبوب الطلع، وأيونات الملح، ومكوّنات أخرى. وبعض هذه المكونات مثل بخار الماء، وأول أوكسيد الكربون، يتباين تركيزها، بحسب الظروف والموقع، وتعتمد كمية بخار الماء في الهواء إلى حد كبير على درجة الحرارة (إنظر الفصل العاشر). يوجد أول أوكسيد الكربون وثاني أوكسيد الكربون، و كلاهما ناتجان ثانويان للإحتراق غير المكتمل، كما أنهما موجودان في تراكيز عالية بشكل غير طبيعي في المناطق المأهولة.

يمكن أن نرى من الشكل (1.9) أن النيتروجين هو أكثر الغازات وفرةً في الغلاف الجوي، ولكن دوره محدود نسبياً في العمليات الجوية والحيوية. يعمل النيتروجين كجزيء رائد في تكوين نترات النيتروجين والتي يحتاجها النبات في صنع البروتينات، والأحماض الأمينية، والكلوروفيل، والأحماض النووية، وكلها ضرورية للكائنات الحية. ويحدث تحول النيتروجين إلى نترات نتيجة للعمليات الكيميائية والحيوية معاً.

يكوّن الأوكسجين (O_2) حوالي 21 % من كتلة الغلاف الجوي، وهو ضروري لكل الكائنات الحية. كما أنه مهم أيضاً لأنه يكون **طبقة الأوزون** (O_3) التي تحمي كل الكائنات الحية من الأشعة فوق البنفسجية عالية الطاقة التي تصيب الغلاف الجوي للأرض وسطحها.

أما تركيز ثاني أوكسيد الكربون (CO_2)، وعلى العكس من النيتروجين والأوكسجين، فهو منخفض نسبياً – حوالي 0.36% أو 360 جزءاً من المليون

من الحجم. تعتمد الحياة على الكربون، وثاني أوكسيد الكربون هو مصدر هذا الكربون. كما أن ثاني أوكسيد الكربون هو المادة الخام التي تتكون منها النباتات الخضراء (عبر عملية التمثيل الضوئي)، الغذاء الذي تحتاجه معظم الكائنات الحية. وبسبب قدرته على إمتصاص الحرارة، يعمل ثاني أوكسيد الكربون على المحافظة على توازن مناسب لحرارة كوكبنا. ومع ذلك، يعد ثاني أوكسيد الكربون مساهماً رئيسياً في تأثير غازات الدفيئة (إنظر الفصل الثالث عشر).

الجدول 1.9 نسب تواجد الغازات في طبقة الغلاف الجوي السفلى (باستثناء بخار الماء)

الغاز	النسبة الى الحجم
النتروجين	78.08
الأوكسجين	20.95
الأرغون	0.93
ثاني أوكسيد الكربون	0.03
النيون	0.0018
الهيليوم	0.00052
ميثان	0.00015
الكريبتون	0.00010
أوكسيد النيتروز	0.00005
الهيدروجين	0.00005
الأوزون	0.000007
الزينون	0.000009

يعد بخار الماء (H_2O) الجزء المرئي الأكبر في الغلاف الجوي. وهو مثله مثل ثاني أوكسيد الكربون، أحد غازات الدفيئة التي تمتص الطاقة الحرارية المشعة

من سطح الأرض. ولأن بخار الماء يغير من طوره بسهولة، فإن بخار الماء مهم جداً في الغلاف الجوي. يتكثّف البخار، عند تبريده، ليكون كتلاً كبيرة من الهواء تحتوي على المطر.

أما الأجزاء الغازية الأخرى المكونة للغلاف الجوي، الهيدروجين، والهيليوم، والزينون، والكربتون (أنظر الجدول 1.9)، فهي غازات خاملة، و لا يبدو أن لها أي تأثير، أو دور يذكر في الغلاف الجوي.

الغلاف الجوي:التركيب
The Atmosphere: Structure

لا يتميز الغلاف الجوي بالغازات المكوّنة له وحدها، و لكنه يتميز أيضاً بالظواهر الفيزيائية التي تحدث فيه أو منه، وتشمل الكثافة والضغط، والحرارة، والإشعاع الحراري.

الكثافة و الضغط
Density and Pressure

يمتد الغلاف الجوي إلى أعلى مع إنخفاض مستمر للكتلة في وحدة الحجم (الكثافة)؛ وتنخفض تراكيز الجزيئات المكونة له مع الإرتفاع. الكثافة العالية تظهر قرب سطح الأرض بسبب الجاذبية الأرضية وضغط الهواء. ونتيجة لذلك فإن أكثر من نصف كتلة الغلاف الجوي تقع تحت إرتفاع 7 أميال (11 كم) و يقع حوالي 99% منها تحت إرتفاع 19 ميل (30 كم). فيما يصبح الهواء رقيقاً جداً في الارتفاعات العالية.

يمكن تقدير الحد الخارجي للغلاف الجوي في مدى يتراوح ما بين 300 إلى 600 ميل (480 – 940 كم) من سطح الأرض، على الرغم من أنه لا يوجد خط فاصل واضح بين الغلاف الجوي والفضاء الخارجي، بسبب الإنخفاض

التدريجي للكثافة في المناطق العليا من الغلاف الجوي.

يعد مفهوم القوة في وحدة المساحة، أو الضغط **الجوي** قريباً من مفهوم الكتلة في وحدة المساحة، أو الكثافة. ويمكن أن نرى مدى قرب هذه العلاقة في الرابطة المباشرة بين الكثافة والضغط. وكما تنخفض الكثافة مع الإرتفاع، وينخفض الضغط الجوي كذلك. والضغط في موقع معين هو، في الأساس، مقياس لوزن الغلاف الجوي فوق ذلك الموقع (يحمل الجسم على سطح الأرض حرفياً العمود الرأسي من الهواء، الذي يقع فوقه).

الحرارة
Temperature

تظهر تغيرات واضحة، عندما نقيس درجة حرارة الغلاف الجوي مقابل الإرتفاع. تقود هذه التباينات في درجة الحرارة إلى تمييز أقسام رئيسية داخل الغلاف الجوي. ولكن هذه الأقسام لا تتمايز بحدود واضحة، بل تمتد لمسافات مختلفة ولكنها موجودة.

تنخفض درجة حرارة الغلاف الجوي كلما ارتفعنا عن سطح الأرض بمعدل متوسط يقارب حوالي 3.5 ° ف /1،000 قدم (6.5 م/ كم)، حتى إرتفاع 10 أميال (16 كم). تدعى هذه المنطقة بالتروبوسفير (أُنظر الشكل 2.9). و تعرف الظروف الجوية للأجزاء السفلى من التروبوسفير جملة **بالطقس (weather)**. تعكس التغيرات في الطقس التذبذبات المحلية في الغلاف الجوي قرب سطح الأرض (أُنظر الفصل العاشر).

وترتفع درجة الحرارة فوق طبقة التروبوسفير بشكل غير منتظم حتى إرتفاع حوالي 30 ميلا (50 كم)(أُنظر الشكل 2.9). وتدعى هذه المنطقة من الغلاف الجوي، الممتدة من 10 إلى 30 ميلاً (16 إلى 50 كم) في الارتفاع "الستراتوسفير" (وتصل درجة الحرارة في أعلاها – 2 درجة مئوية).

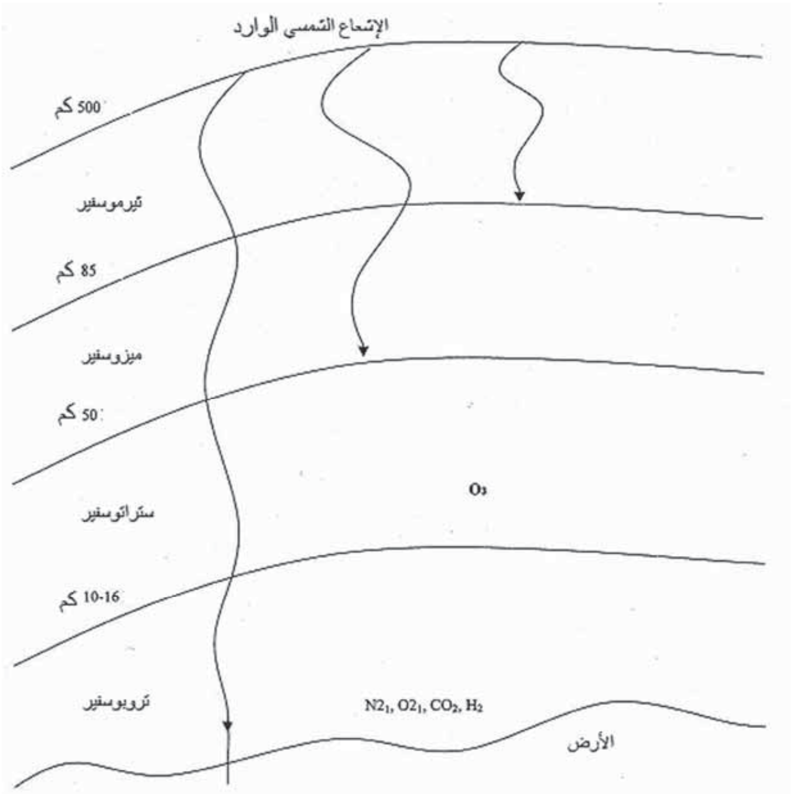
وبعد "الستراتوسفير"، تنخفض درجات الحرارة بشكل منتظم إلى حوالي −140 ° ف (−95 ° م) في إرتفاع 50 ميل (80 كم). وتدعى هذه المنطقة من الغلاف الجوي بالميزوسفير (الغلاف المتوسط).

وفوق الميزوسفير، يتم تسخين طبقة الغلاف الجوي الرقيق بشكل كثيف بفعل أشعة الشمس وترتفع درجة الحرارة إلى 1,800 ف (1000 م). تدعى هذه المنطقة الممتدة حتى الحدود الخارجية للغلاف الجوي بال**ثرموسفير**. وتتباين درجة حرارة الثرموسفير بشكل مباشر مع النشاط الشمسي.

الإشعاع الشمسي والحراري
Solar and Thermal Radiation

للإشعاع الشمسي و الحراري تأثير كبير على الخواص الكلية للغلاف الجوي للأرض، رغم أنه يؤثر في الواقع على الخواص الفيزيائية بصورة تفوق تأثيره على الخواص التركيبية للغلاف الجوي. تمطر الطاقة الإشعاعية للشمس (الإشعاع الشمسي) الغلاف الجوي للأرض حرفياً بكميات ضخمة من الطاقة الكهرومغنطيسية.

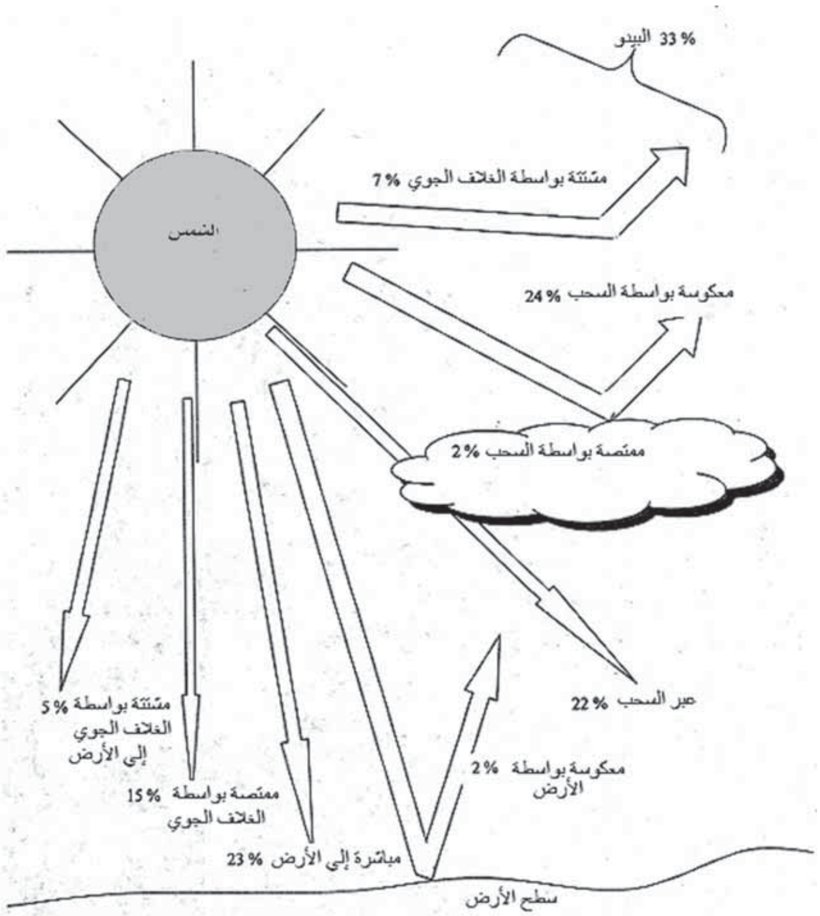
تدعى الطاقة الشمسية الساقطة على الغلاف الجوي للأرض في شكل إشعاع بالإشعاع الشمسي الوارد (Incident solar radiation). وعلى الرغم من أن الغازات الجوية، كالأوكسجين، والأوزون، وثاني أوكسيد الكربون، وبخار الماء، تمتص بعض الطاقة الشمسية الواردة (الإشعاع)، فإن جزءاً من الطاقة الشمسية يصل إلى سطح الأرض.



الشكل 2.9 الغلاف الجوي للأرض و الإشعاع الشمسي الوارد

وإذا ما أفترضنا أن الشمس تولد طاقة إشعاعية واردة بنسبة 100%، فيمكننا أن نوضّح توزيع الطاقة الشمسية الواردة كما هو موضح في الشكل 3.9 . يمكننا أن نرى من الشكل 3.9 أن حوالي 23% من الإشعاع الشمسي تصل مباشرة إلى المستوى الأرضي. وحوالي 5% منها تتشتت من الغلاف الجوي إلى الأرض، في حين يمتص الغلاف الجوي حوالي 15%. ويمكن لنسبة 22% أن تصل إلى الأرض بشكل غير مباشر عبر إختراق السحب. هذا وتمتص حوالي 2% من هذه الطاقة وتعكس حوالي 24%، و تتشتت نسبة 7% أخرى بفعل السحب مرة أخرى إلى الفضاء الخارجي (المجموع 33% تنعكس إلى الفضاء الخارجي).

تعاد نسبة ثلاثة وثلاثين في المائة من الطاقة الشمسية الواردة إلى الفضاء من دون أثر مقدر على الغلاف الجوي، كنتيجة للإنعكاس من قبل السحب، والتشتيت من قبل الدقائق العالقة في الغلاف الجوي، والإنعكاس من الأسطح الأرضية (و تشمل المياه، و الجليد، والأسطح الأرضية المتنوعة)، و تعرف هذه الظاهرة **بالوضاءة (albedo)** (الانعكاسية، أنظر دراسة الحالة 1.9).



الشكل 3.9 توزيع الإشعاع الشمسي

تعيد الأرض والغلاف الجوي الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض والغلاف الجوي في موجات طولية أطول وفي طيف إنبعاث محدد. يتم بث هذا الإشعاع الحراري أو الطاقة الحرارية إلى الفضاء من سطح الأرض، أو يتم بثه بشكل مباشر من الغلاف الجوي عبر مدى طيف الأشعة تحت الحمراء يمتد من 3 إلى 8 ميكرومتر، مع قمة تصل حتى 11 ميكرومتر.

دراسة الحالة Case Study 1.9

الوضاءة Albedo

للوضاءة (وهي نسبة الضوء المنعكس– الإنعكاسية – من جسم، أو كوكب، أو تابع إلى نسبة الضوء الساقط عليه) قيمة تقل دائماً عن/أو تساوي 1 – فجسم بقيمة وضاءة (قريبة من 1) هو جسم ساطع، في حين أن جسماً له قيمة وضاءة (قريبة من 0) هو جسم مظلم. وعلى سبيل المثال، فإن حبيبات الثلج الساقطة عادة ما يكون لها وضاءة بقيمة تتراوح ما بين 75 إلى 90 + %، بمعنى أن الثلج يعكس حوالي 75 إلى 90+ من إشعاع الشمس الساقط عليه. و في الطرف الآخر، فإن وضاءة سطح، خشن، ومظلم، مثل غابة خضراء، قد يكون منخفضاً، يصل حتى قيمة 5%. وأدناه نقدم قائمة بقيّم الوضاءة لبعض الأسطح الشائعة (الجدول 2.9). يمتص سطح الأرض الجزء غير المنعكس من الطاقة الإشعاعية الشمسية، مما يرفع من درجة حرارتها وهذا يعني أن وضاءة الأرض تؤدي دوراً مهماً في توازن إشعاع الأرض وتؤثر على **متوسط الحرارة السنوية** و**المناخ**، على المستويين المحلى و العالمي.

الشكل 2.9 وضاءة أنواع السطوح (بحسب النسب المعكوسة)

السطح	نسبة الوضاءة %
الماء (شمس منخفضة)	10–100
الماء (شمس مرتفعة)	3–10

العشب	26–16
ثلج المجلدة	40–20
الغابات النفضية	20–15
الغابات الصنوبرية	15–5
ثلج القديم	70–40
ثلج جديد	95–75
ثلج البحر	40–30
شارع مسفلت	10–5
الصحراء	30–25
محاصيل	25–15

توازن حرارة الأرض Earth Heat Balance

يصل حوالي 50% من الإشعاع الشمسي الداخل إلى الغلاف الجوي إلى سطح الأرض إما بصورة مباشرة أو بعد أن يُشتت من السحب، والمادة الحبيبية، أو الغازات الجوية. في حين أن نسبة 50% المتبقية إما أن تنعكس مباشرة إلى الفضاء، أو تمتص في الغلاف الجوي ومن ثم يعاد بث إشعاعها إلى الفضاء في وقت آخر في صورة أشعة تحت حمراء. تمتص معظم الطاقة الشمسية التي تصل إلى سطح الأرض، لكن يجب إعادتها إلى الفضاء للمحافظة على توازن الحرارة. كما يجب فقدان الجزء الذي يصل إلى سطح الأرض من الطاقة المنتجة داخل الأرض (من طبقة الوشاح الساخنة hot mantle عبر التوصيل والحمل) أيضاً (والذي يقارب حوالي 1% من الحرارة المستقبلة من الشمس).

يتم إشعاع الطاقة من الأرض عبر ثلاثة طرق لنقل الطاقة: الإشعاع،

والتوصيل، والحمل. يحدث **إشعاع** الطاقة، وكما ذكرنا سابقاً عبر الإشعاع الكهرومغنطيسي في منطقة الأشعة تحت الحمراء من الطيف الكهرومغنطيسي. وتكمن الأهمية الشديدة لآلية الإشعاع في كونه يحمل الطاقة بعيداً من الأرض – في أطوال موجية أطول من تلك الخاصة بالطاقة الشمسية (ضوء الشمس) التي تحضر الطاقة إلى الأرض – وبالمقابل، يعمل على المحافظة على توازن حرارة الأرض. يعد توازن حرارة الأرض أمراً ذا أهمية خاصة بالنسبة لنا في هذا الكتاب لأنه عرضة للإضطراب بفعل أنشطة البشر.

تنقل كمية أقل نسبياً (ولكنها مهمة) من الطاقة الحرارية إلى الغلاف الجوي عبر التوصيل من سطح الأرض. يحدث **توصيل** (Conduction) الطاقة عبر تفاعل الجزيئات المتجاورة من غير أي حركة ظاهرة مصاحبة لنقل الحرارة – وعلى سبيل المثال، حينما يسخن قضيب معدني بكامله عندما وضع أحد طرفيه في نار. ولأن الهواء وسط رديء في نقل الحرارة، فإن التوصيل ينحصر في الطبقة ذات التماس المباشر مع سطح الأرض. ينتقل الهواء المسخن بعدها إلى أعلى بواسطة **الحمل** (Convection)، وهي حركة كتل كاملة من الهواء، قد تكون ساخنة أو باردة نسبياً. والحمل هو الآلية التي تحدث من خلالها تباينات حادة في درجات الحرارة حينما تتحرك كتل كاملة من الهواء عبر منطقة ما. تميل درجة حرارة الهواء إلى أن تكون أكبر قرب سطح الأرض، وتنخفض تدريجياً بزيادة الإرتفاع. تنقل كمية كبيرة من حرارة سطح الأرض إلى السحب في الغلاف الجوي عبر التوصيل والحمل – قبل أن تفقد نهائياً من خلال الإشعاع – وتؤدي إعادة توزيع الطاقة الحرارية هذه دوراً في الظروف الجوية و المناخية.

يحتفظ سطح الأرض بدرجة حرارة متوسطة في حدود 15 ^{o}م بسبب تأثير غازات الدفيئة. يحدث تأثير غازات الدفيئة عندما تنقل غازات الجزء الأسفل من الغلاف الجوي معظم الجزء المرئي من أشعة الشمس الساقطة بطريقة البيت

الزجاجي نفسها. في حديقة بيت الدفيئة. تبث الأرض الساخنة الإشعاع في منطقة الأشعة تحت الحمراء، ويمتص الأشعاع بصورة انتقائية من قبل الغازات الجوية، التي تمتلك طيف إمتصاص مشابه لطيف إمتصاص الزجاج. ترفع هذه الطاقة الممتصة من حرارة الغلاف الجوي وتساعد في الحفاظ على حرارة الأرض. ومن دون تأثير غاز الدفيئة، فإن متوسط حرارة السطح سيكون في حدود 18− م. كما تقوم جزيئات الماء في الغلاف الجوي بإمتصاص معظم طاقة الأشعة فوق الحمراء. وبالإضافة إلى الدور الرئيسي الذي تؤديه جزيئات الماء، يعتبر ثاني أوكسيد الكربون، ضرورياً أيضاً، وإن كان بدرجة أقل، في الحفاظ على توازن الحرارة. يبدي دعاة البيئة وغيرهم من الذين يدرسون القضايا البيئية قلقهم من أن زيادة مستويات ثاني أوكسيد الكربون في الغلاف الجوي قد تمنع فقدان الطاقة بشكل كبير، مما يؤدي إلى زيادة مدمرة في درجة حرارة الأرض. يشار إلى هذه الظاهرة عموماً **بتأثير غازات الدفيئة ذات المصدر البشري** (إنظر الفصل 13)، و الذي قد يحدث نتيجة لإرتفاع مستويات ثاني أوكسيد الكربون الناتجة من الإستخدام المتزايد لأنواع الوقود الأحفوري، و إنخفاض إمتصاص ثاني أوكسيد الكربون الناتج من تدمير الغابات المطرية و مناطق الغابات الأخرى.

الغلاف الجوي : الحركة The Atmosphere: Motion

يعد القول إن الغلاف الجوي في حالة حركة دائمة نوعاً من تقرير الحقائق الواضحة. فأي شخص يراقب التغيرات المستمرة للطقس يعرف جيداً هذه الظاهرة. وعلى الرغم من وضوحها، فإن أهمية الحالة الحركية لغلافنا الجوي لا تزال أقل وضوحاً بكثير.

تتكون الحركة المستمرة لغلاف الجو الأرضي (حركة الهواء) من أبعاد أفقية (الرياح) ورأسية (تيارات الهواء) في آن واحد. وتنتج حركة الغلاف الجوي من

الطاقة الحرارية الناتجة من تسخين سطح الأرض وجزيئات الهواء من فوقه. تتدفق الطاقة من خط الاستواء إلى القطبين، وذلك بسبب التسخين المتباين لسطح الأرض.

وعلى الرغم من أن حركة الهواء تؤدي دوراً مهماً في نقل طاقة جزء الأسفل من الغلاف الجوي، مما يجلب التأثيرات الدافئة للربيع، والصيف، والبرودة القارسة للشتاء، فعادة ما يتم نسيان آثار حركة الهواء على بيئتنا. لقد طورت كل أنواع الحياة على الأرض طرقاً تعتمد على حركة الهواء: فالرياح تحمل حبوب الطلع لتكاثر النباتات، وتشم الحيوانات الرياح لتحصل على معلومات أساسية عن موقع أعدائها، كما مثلت الرياح القوة الدافعة للسفن في الأطوار الأولى للثورة الصناعية. والآن نرى آثار الرياح بطرق أخرى: فالرياح تسبب تجوية (تعرية) سطح الأرض، وتؤثر على تيارات المحيطات، وكما أن ملوثات الهواء مثلها مثل الجزيئات المشعة المنقولة بواسطة الرياح تؤثر على بيئتنا.

أسباب حركة الهواء
Causes of Air Motion

تعد القوى ضرورية لإنتاج الحركة والتغييرات في الحركة – الرياح وتيارات الهواء – في الحالات الحركية كلها. يتعرض الهواء (المكون من عدة غازات) لقوتين رئيسيتين: الجاذبية وفروق الضغط الناتجة من تباين درجة الحرارة.

تمسك الجاذبية (قوى الجاذبية) الغلاف الجوي بحيث يكون قريباً من سطح الأرض. ينص قانون نيوتن للتجاذب الكوني على أن أي جسم في الكون يجذب جسماً آخر بقوة مقدارها:

$$F = G\, m1m2/r2 \quad (1.9)$$

حيث F = القوة

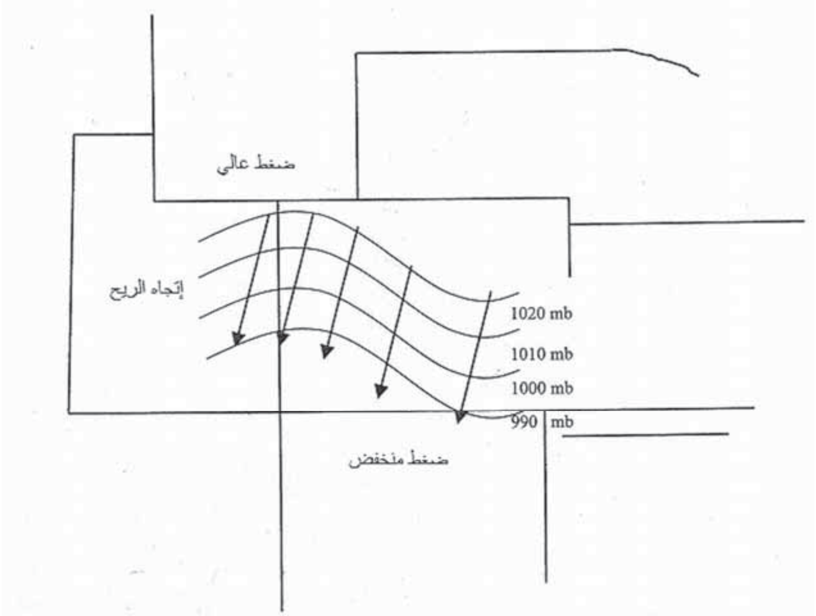
m2،m1 = كتل الجسمين

G = الثابت الكوني 6.67×10^{-11} N x m²/ kg²

R = المسافة بين الجسمين

تتناقص قوى الجاذبية مع معكوس مربع المسافة بين الجسمين. تؤثر الحرارة على الكثافة، التي تتسبب بدورها في جعل الجاذبية تؤثر على حركة الهواء الرأسية ودورة الهواء الكوكبية. ويؤثر هذا الأمر على الكيفية الطبيعية لإزالة تلوث الهواء من الغلاف الجوي.

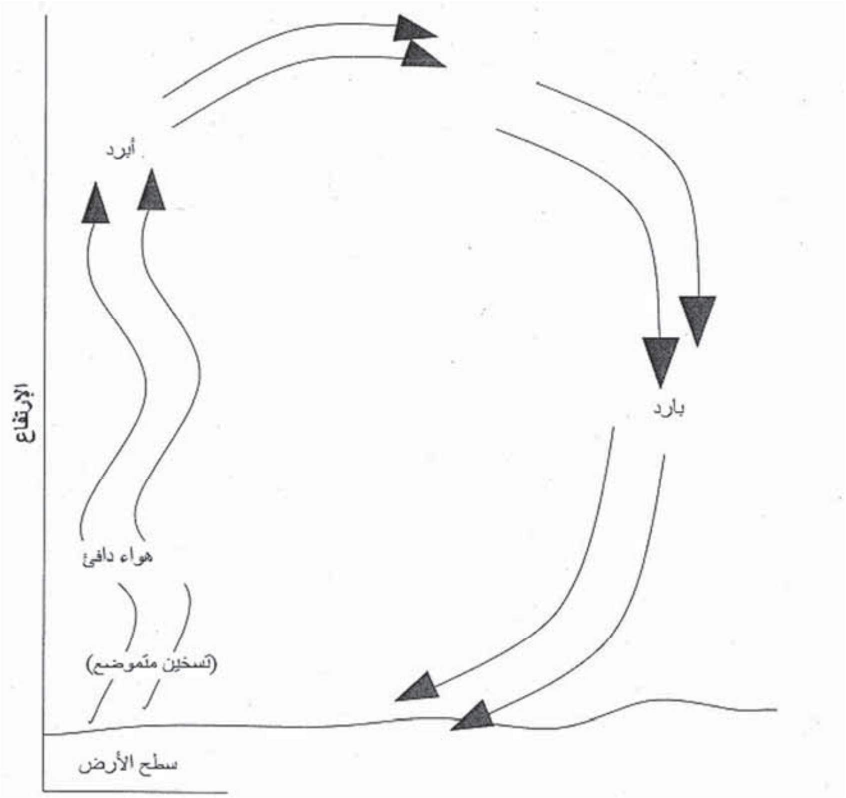
ورغم أن قوى أخرى ذات إتجاه معاكس قد تتغلب على قوة الجاذبية، فإن القوة دائمة الحضور للجاذبية تظل رأسية للأسفل و تؤثر على كل جزيء غازي، وهو الأمر الذي يفسر وجود الكثافة الأكبر للهواء قرب سطح الأرض.



الشكل 4.9 خطوط تساوي الضغط. حركة الهواء، أو إتجاه الرياح، تحدث في زاوية متعامدة مع خطوط تساوي الضغط و يتحرك من مناطق الضغط العالي الى مناطق الضغط المنخفض.

الهواء الجوي هو خليط من الغازات، لذا فإنه يخضع في سلوكه لقوانين الغازات والمبادئ الفيزيائية الأخرى. يتناسب ضغط الغاز تناسباً طردياً مع الحرارة. والضغط هو عبارة عن القوة في وحدة المساحة (الضغط = القوة/المساحة)، لذا فإن تباين درجات الحرارة في الهواء يتسبب في حدوث فروقات الضغط. يخلق فرق الضغط الناتج من فروقات درجات الحرارة في الغلاف الجوي حركة الهواء – على المستويين الكبير والمحلي. ويتوافق فرق الضغط هذا مع قوة غير متوازنة، وعندما يحدث فرق في الضغط، فإن الهواء يتحرك من منطقة الضغط العالي إلى منطقة الضغط المنخفض.

وبتعبيرات أخرى، تنتج حركة الهواء الأفقية (وتدعى الرياح التأفقية) من فروقات الحرارة، والتي تؤدي إلى فروقات الكثافة، وتؤدي بالتالي إلى فروقات الضغط. توجد هذه القوة المرتبطة مع تباينات الضغط (قوة فرق الضغط) في زوايا قائمة (متعامدة) مع خطوط الضغط المتساوي (وتدعى بخطوط تساوي الضغط الجوي) وتتجه من الضغط العالي إلى الضغط المنخفض.



الشكل 5.9 التدوير الحراري للهواء. يبتدر التسخين المتموضع، و الذي يتسبب في تصاعد الهواء في المنطقة عملية التدوير. مع تصاعد الهواء الساخن و تبريده، يتحرك الهواء بالقرب من السطح أفقياً تجاه المنطقة التي يخليها الهواء المتصاعد. بعد ذلك يهبط الهواء الموجود في الأعلى و الذي ما زال بارداً، ليحتل المناطق التي أخلاها الهواء البارد.

في الشكل 4.9 تُحَدَد خريطة الضغط في منطقة معينة بأخذ قياسات الضغط في عدة مواقع. تعرف الخطوط المرسومة عبر نقاط (مواقع) ذات الضغط المتساوي بخطوط تساوي الضغط الجوي (isobars). والنقاط كلها في هذا الخط لها الضغط نفسه، الأمر الذي يعني أنه لا توجد حركة للهواء على طول خط تساوي الضغط الجوي. يكون إتجاه الرياح في زاوية قائمة مع خط تساوي الضغط الجوي، وفي إتجاه الضغط المنخفض. لاحظ في الشكل 4.9 أن الهواء يتحرك أسفل تدرج الضغط بإتجاه خط تساوي الضغط الأدنى مثل كرة متدحرجة

من تل. إذا كانت خطوط تساوي الضغط متقاربة من بعضها البعض، فإن فرق الضغط يكون كبيراً، كما تتميز هذه المناطق بسرعات رياح عالية. أما إذا كانت خطوط تساوي الضغط متباعدة من بعضها البعض (إنظر الشكل 4.9)، فإن الرياح ستكون خفيفة لأن فرق الضغط صغير.

تتسبب دورة الهواء المحلية في **دورة حرارية** (**thermal circulation**) (نتيجة لعلاقة مبنية على قانون فيزيائي حيث أن ضغط وحجم الغاز يرتبطان مباشرة بدرجة حرارته). يسبب تغيير الحرارة تغييراً في ضغط و/ أو حجم الغاز. ومع تغير الحجم يحدث تغير في الكثافة، ولأن الضغط = الكتلة/الحجم، لذا فإن مناطق الغلاف الجوي ذات درجات الحرارة المختلفة قد يكون لها ضغط جوي وكثافة متباينة. ولفهم هذه الظاهرة، أُنظر الشكل 5.9.

تبدأ قوى ثانوية (القوى المعتمدة على السرعة) في العمل، بمجرد أن يبدأ الهواء في الحركة. تنتج هذه القوى من دوران الأرض (قوة كوريوليس (Coriolis force– والتلامس مع الأرض المتحركة (الإحتكاك). قوة كوريوليس، التي سميت على إسم مكتشفها، عالم الرياضيات الفرنسي جاسبارد كوريوليس (1792 – 1834)، هي تأثير دوران الأرض على الغلاف الجوي، وعلى كل الأجسام على سطح الأرض. تسبب هذه القوة إنحراف الأجسام المتحركة إلى اليمين، في النصف الشمالي من الكرة الأرضية، وانحراف الأجسام المتحركة إلى الشمال، في النصف الجنوبي من الكر الأرضية، وذلك بسبب دوران الأرض. يبدو أن الهواء ينحرف عندما يتحرك شمالاً أو جنوباً على مقياس كبير، عن مساره المتوقع. ويعني ذلك أن الهواء المتحرك بإتجاه القطب في النصف الشمالي من الكرة الأرضية يبدو وكأنه ينحرف بإتجاه الشرق، في حين يبدو الهواء المتحرك جنوباً وكأنه ينحرف غرباً.

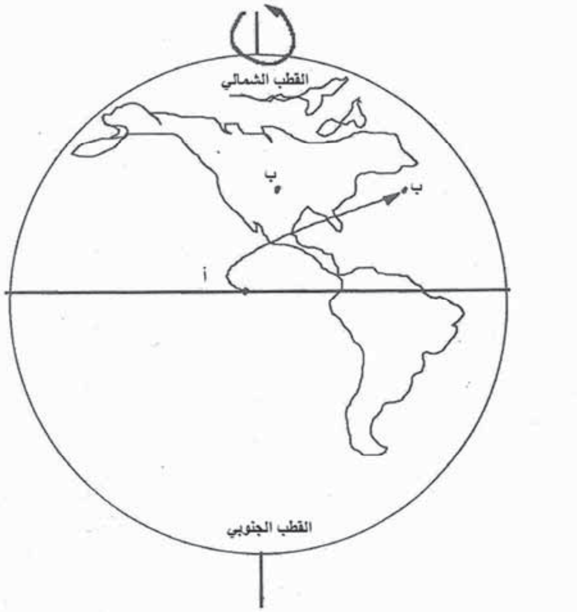
يوضح الشكل 6.9 تأثير كوريوليس على دقيقة مندفعة* تأثير مناظر لحركة

---

*دقيقة مندفعة (propelled particle)

كتلة من الهواء المندفع من النقطة أ إلى النقطة ب. يمكن أن نرى فعل دوران الأرض على دقيقة من دقائق الهواء وهو يسافر شمالاً فوق سطح الأرض أثناء دوران الأرض من تحته من الشرق إلى الغرب. فالجسم المنطلق من النقطة أ إلى النقطة ب سينتهي به المطاف في النقطة ب وذلك لأن الأرض تدور من الشرق إلى الغرب من تحته، في أثناء حركته في خط مستقيم (منحرف).

يمكن للإحتكاك (**السَحب –friction–**) أن يسبب انحراف حركة الهواء. ويعد هذا الاحتكاك (**المقاومة**) ذا مصدر داخلي وخارجيً في آن واحد. يولّد إحتكاك جزيئات الهواء مع بعضها إحتكاكا داخلياً. ويتولد هذا الإحتكاك عندما تصطدم جزيئات الهواء مع بعضها البعض، في حين ينتج الاحتكاك الخارجي من التلامس مع الأسطح الأرضية. يعتمد مقدار قوة الاحتكاك بسطح ما على مقدار الهواء وسرعته، وعلى قوة الإحتكاك المعاكسة في الاتجاه المضاد لحركة الهواء.



الشكل 6.9 تأثير دوران الأرض على مسار الدقائق المقذوفة (المندفعة).

دورة الهواء المحلية والعالمية
Local and World Air Circulation

يتحرك الهواء في جميع الاتجاهات، وهذه الحركات ضرورية لأولئك الناس الذين يعيشون على كوكب الأرض: فحركة الهواء الرأسية ضرورية لتكوين السحب والأمطار (إنظر الفصل 10). في حين تنتج حركة الهواء الأفقية قرب سطح الأرض الرياح.

تعد الرياح عاملاً مهماً لراحة الإنسان، خصوصاً لأنها تؤثر على مدى البرودة التي نشعر بها. فيمكن لريح سريعة في درجات حرارة منخفضة بشكل معتدل أن تصيبنا سريعاً بالبرد المزعج . تعزز الرياح من فقدان حرارة الجسم، الأمر الذي يفاقم من تأثير القشعريرة، والذي يعبر عنه من خلال **عوامل قشعريرة الرياح** في الشتاء (أنظر الجدول 4.9)، و **مؤشر الحرارة** في الصيف (أنظر الجدول 4.9). يصف هذان المقياسان الآثار التبريدية للرياح على الجلد المكشوف في درجات حرارة متباينة.

تعد الرياح المحلية ناتجاً لفروقات الضغط الجوي المرتبطة بالدورات الحرارية الناتجة من الخواص الجغرافية. ترتفع حرارة اليابسة بشكل أسرع من مناطق المياه، مما يؤدي لدورة الحمل. ونتيجة لذلك، وخلال اليوم، عندما تكون اليابسة أدفأ من المياه، نشعر بنسمة بحرية. وفي الليل، تنعكس الدورة. تفقد الأرض حرارتها بشكل أسرع من المياه، لذا يكون الهواء فوق المياه أدفأ، حينها تعمل دورة الحمل في الإتجاه المعاكس وتهب نسمات اليابسة.

تجري في طبقة التروبوسفير العليا (فوق 11 إلى 14 كم، من الغرب إلى الشرق) حزم ضيقة من الهواء سريع الحركة تدعى **الدفق النفاث (jet stream)**. للدفق النفاث تأثير كبير على تدفق الهواء السطحي. فعندما يعّجل الدفق النفاث من حركته، يحدث تشعب للهواء في ذلك الإرتفاع. يعزز هذا

الأمر من حدوث إلتقاء للهواء قرب السطح وتكوين حركة إعصارية. في حين أن تباطؤ السرعة يسبب حدوث إندماج (convergence) في الأعلى وهبوطاً قرب السطح، مما يؤدي إلى إشتداد أنظمة الضغط العالية. يُعتقد أن الدفق النفاث ينتج من تركيب الدورة العام في المناطق التي يحدث فيها إلتقاء مناطق الضغط العالي والمنخفض.

الجدول 3.9 جدول قشعريرة الرياح

سرعة الرياح ميل/الساعة	درجة الحرارة (فهرنـهايت)											
	30	25	20	15	10	5	0	−5	−10	−15	−20	−25
5	25	19	13	7	1	−5	−11	−16	−22	−28	−34	−40
10	21	15	9	3	−4	−10	−16	-22	-28	-35	-41	-47
15	19	13	3	0	−7	−13	-19	-26	-32	-39	-45	-51
20	17	11	4	−2	−9	−15	-22	-29	-35	-42	-48	-55
25	16	9	3	−4	−11	−17	-24	-31	-37	-44	-51	-58
30	15	8	1	−5	−12	-19	-26	-33	-39	-46	-53	-60
35	14	7	0	−7	−14	-21	-27	-34	-41	-48	-55	-62
40	13	6	−1	−8	−15	-22	-29	-36	-43	-50	-57	-64
45	12	5	−2	−9	−16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65
50	12	4	−3	−19	−17	-24	-31	-38	-45	-52	-60	-67
55	11	4	−3	−11	-18	-25	-32	-39	-46	-54	-61	-68
60	10	3	−4	−11	-19	-26	-33	-40	-48	-55	-62	-69

ملحوظة: تشير الخلايا الرمادية الى أن عضة الصقيع (frostbite) سوف تحدث خلال 15 دقيقة أو أقل من ذلك

www.usatoday.com/whether/resources/basics/windchill/wind-chill-chart.htm

الجدول 4.9 جدول معامل الحرارة (درجة الحرارة و الرطوبة النسبية)

النسبة المئوية للرطوبة النسبية	درجة الحرارة (فهرنهايت)															
	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
90	119	123	128	132	137	141	146	152	157	163	168	174	180	186	193	199
85	115	119	123	127	132	136	141	145	150	155	161	166	172	178	184	190
80	112	115	119	123	127	131	135	140	144	149	154	159	164	169	175	180
75	109	112	115	119	122	126	130	134	138	143	147	152	156	161	166	171
70	106	109	112	115	118	122	125	129	133	137	141	145	149	154	158	163
65	103	106	108	11	114	117	121	124	127	131	135	139	143	147	151	155
60	100	103	105	108	11	114	116	120	123	126	129	133	136	140	144	148
55	98	100	103	105	107	110	113	115	118	121	124	127	131	134	137	141
50	96	98	100	102	104	107	109	112	114	117	119	122	125	128	131	135
45	94	96	98	100	102	104	106	108	110	113	115	118	120	123	126	129
40	92	94	96	97	99	101	103	105	107	109	111	113	116	118	121	123
35	91	92	94	95	97	98	100	102	104	106	107	109	112	114	116	118
30	89	90	92	93	95	96	98	99	101	102	104	106	108	110	112	114

ملحوظة: يمكن أن يتسبب التعرض الكامل لضوء الشمس أن يزيد من معامل الحرارة بقيم تصل الى 15 ^{o} ف

صور الطقس:www.weatherimages.org/data/heatindex.html

دراسة حالة 2.9 Case Study

النفخ في الريح... Blowing in the Wind

ظل تحويل طاقة الرياح – وهي الطاقة الميكانيكية المتجددة والرائدة في معظم التاريخ البشري – أمراً تمت ممارسته لآلاف السنين. فهي تقنية مبرهن عليها،

وأعيد اختراعها لعدد من المرات، بفوائد عدة للمستهلك. تظهر مزارع الرياح الحديثة أن توربينات الرياح هي بديل ممكن لإنتاج الطاقة من الوقود الأحفوري. ولأن الكلفة وعوامل السعة مختلفة جداً بين الطاقة المولدة بواسطة الرياح مقارنة بالطاقة المولدة بواسطة الوقود الأحفوري، فإن القيم المنخفضة لكلفة الكيلوواط لتوربينات الرياح هي قيم مضللة إلى حد ما وذلك بسبب عامل السعة المنخفض لتوربينات الرياح مقارنة بمنشآت توليد الطاقة من الفحم أو أنواع الوقود الأحفوري الأخرى.(لاحظ "عامل السعة" هو نسبة الطاقة الفعلية المنتجة من منشأة طاقة نسبة إلى الطاقة المحتمل إنتاجها إذا ما تشغيل المنشأة بسعة مقدرة لمدة عام كامل.) تتراوح قيم عوامل السعة لمزارع الرياح الناجحة ما بين 0.20 إلى 0.35 . في حين أن منشآت الطاقة التي تعمل بالوقود الأحفوري تملك عوامل سعة أكثر من 0.50 وتصل بعض توربينات الغاز الجديدة إلى قيم تفوق 0.60.

كما أن "عامل السعة" والفرق بين الإنتاج منخفض – وعالي السعة هو أمر مضلل أيضاً. فسعة تحويل الرياح مرنة، كما تتباين مستويات الإنتاج مع كثافة مصدر الرياح. والأمر الأكثر أهمية هو أن مصدر الرياح يظل ثابتاً طوال عمر الآلة – ولا يكون عرضة للتلاعب بالتكلفة أو لزيادتها. تعتبر أنواع الوقود الأحفوري، كمصدر للطاقة، محبذة للمستثمرين لأن عدداً من مخاطرها تمرر إلى المستهلكين. فعندما يحدث نقص في الوقود الأحفوري، يرفع المستثمرون الأسعار – مما يقود إلى زيادة أرباح المستثمرين. وفي منعطف كريهه للمستهلكين، فإن المستثمرين في إنتاج الطاقة من الوقود الأحفوري يكافأون على تسريعهم لنفاد مصدر غير متجدد و / أو عدم استثمارهم ما فيه الكفاية من أرباحهم في دعم البنية التحتية، الأمر الذي يقود إلى ارتفاع الأسعار(تذكر كاليفورنيا 2000– 2001). لذا تصبح هذه الفائدة الظاهرة لتكنولوجيا تحويل طاقة الرياح عائقاً أمام الإستثمار: إذا استطاعت شركات النفط، والفحم، والغاز

الكبيرة أن تفرض رسوماً على المستهلكين للرياح، لكانت طاقة الرياح أمراً مفروغاً منه منذ زمن بعيد.

إنخفضت تكلفة إنتاج الطاقة من توربينات الرياح الكهربائية ذات الإنتاجية العالية المستخدمة في المرافق المرتبطة مع بعضها البعض أو تطبيقات مزارع الرياح من حوالي 1.0 دولار للكيلووات – ساعة في العام 1978 إلى أقل من 0.025 في الكيلووات – ساعة عندما دخلت منشآت الرياح الكبيرة لخطوط الإنتاج في عامي 2001 و 2002. وإنخفضت تكلفة المعدات إلى أقل من 800 دولار للكيلووات المثبت، وهي أقل من كلفة رأسمال أي نوع آخر من منشآت الطاقة.

ستصبح طاقة الرياح قريباً أرخص مصدر للطاقة الكهربائية، بل ربما يكون قد وصل بالفعل إلى هذه الحالة. إن الكلفة الفعلية لدورة حياة الوقود الأحفوري (بدءًا بتعدين الفحم وإستخلاص الوقود، وبالإضافة إلى تقنية الإستخدام و النقل، وحساب التأثير البيئي والكلفة السياسية) غير معروفة، ولكن من المؤكد أنها أعلى من المعدلات الإجمالية الحالية – والتي تم إلقاؤها على كاهل المستهلكين من قبل صناعة الطاقة. ومن منظور صارم لكلفة الطاقة، ولأن مصادر الوقود الأحفوري غير متجددة، فإن الإستنفاد النهائي لهذه المصادر سيحتم حدوث زيادة سريعة في الأسعار. أضف إلى هذا التكاليف البيئية والسياسية لإستخدام الوقود الأحفوري، والوعي المتزايد للعامة حول هذه القضايا، حينها سيصبح الوقود الأحفوري أكثر كلفة.

يتفاءل خبراء طاقة الرياح بمستقبل هذه الصناعة. فقد إكتملت التطورات التقانة الرئيسية التي تسمح بإستخدامها بصورة تجارية، رغم أن تحسينات وتعديلات لا حصر لها لا زالت في الإمكان.

وعلى الرغم من أن إنتاج الطاقة من الرياح يعتبر، عادة، أمراً نظيفاً من الناحية

البيئية، فلا تزال هناك مشاكل بيئية خطيرة. يجب دراسة مواقع وضع مزارع الرياح بعناية، وذلك لحماية الأنواع الحية. فمزارع الرياح تجهد الحياة البرية، المفرقة والمختزلة أصلاً. كما يعد معدل وفيات الطيور أحد المشاكل البيئية الخطيرة الأخرى. مثلها مثل المباني العالية، و وخطوط الطاقة، والأبراج، والهوائيات، وغيرها من المنشآت البشرية التي تعتبر قاتلة لعدد من الطيور، فإن مزارع الرياح ذات المواقع السيئة لها مردود ثقيل على مجتمعات الطيور، وخصوصاً الطيور المهاجرة. تعتبر مزارع الاماونت باس (Alamont Pass) ذات موقع سيء، ومنذ إنشائها في ثمانينات القرن العشرين قتلت العديد من النسور الذهبية، وأنواعاً أخرى أيضاً. تختار النسور الذهبية فريستها من الحيوانات وتنقض عليها، مهملة بشكل كامل خطر توربينات الرياح. يمكن لهذه الطيور أن ترى المراوح في الظروف العادية، ولكن تركيزها الغريزي على الفريسة هو من القوة بحيث أنها خلال إنقضاضها للقتل لا ترى سوى فريستها.

تملك حوالي 6 إلى 10 شركات، وتشمل شركات يو أس، ووبند بور، وكينتيك، وغرين ماونتن إنرجي، التوربينات في مزرعة التاماونت باس – أكثر من 7000 من التوربينات. توجد منشأة أخرى تعمل بالرياح في تيهاشيبي باس قرب لوس أنجلس ولا تمثل سوى خطر ضئيل على مجتمعات الطيور.

يقول ستان مور، وهو من دعاة المحافظة، في لقاء أجرته معه صحيفة سان فرانسيسكو كرونيكل:

يقدر أن 40 إلى 60 نسراً ذهبياً تقتل سنوياً، بالإضافة إلى 200 من الصقور ذات الذيل الأحمر وأعداد أقل من العاسوق الأمريكي، والغربان، والبومات الحفارة، وطيور أخرى. وهذه أرقام متحفظة.......

أنا أقف إلى جانب الطاقة المتجددة عندما تثبت في مواقع ملائمة، ولكن الاماونت باس هو أحد أسوا المواقع في الأرض لتثبت عليه مزرعة رياح،لأنها تقع جوار أحد أكثف مجتمعات تناسل للنسور الذهبية في العالم.

هذا مكان فريد للجوارح بسبب وفرة مصدر الطعام المتمثل في السناجب الأرضية....

التاماونت باس ليست المكان الملائم لتوربينات الرياح. فتحت نملك هنا مسكناً على مستوى عالمي للنسور الذهبية.

موّلت لجنة كاليفورنيا للطاقة دراسة استمرت خمس سنوات، أجريت من قبل د.جرينجر هنت، وهو خبير عالمي في الطيور المفترسة يعمل في مجموعة سانتا كروز لأبحاث الطيور المفترسة. لم تجد الدراسة أي آثار على مستوى مجتمع النسور الذهبية في "التاماونت باس"، ومع ذلك؛ يمكن للنسور المحلية أن توفر مصدراً لكاليفورنيا كلها إذا توقفت هلاكات مزارع الرياح. و عوضاً عن ذلك، تعد النسور المحلية مجتمعاً معرضاً للخطر: إذا أخلت أي ضغوط أخرى بمجتمع النسور الذهبية في التاماونت باس – وباء فيروس النيل الغربي، على سبيل المثال – فستحدث خسائر كارثية للمجتمع، وذلك لأن توربينات الرياح قد أزالت معظم المجتمع العازل.

ولأن موجهات الضبط تطوعية وليست إجبارية، فإن صناعة الطاقة هي التي تمارس الرقابة على نفسها في هذه القضية. فعندما تمارس هيئة الأسماك والحياة البرية الأمريكية ما يدعوه موظفوها انفسهم تطبيق " تقديري" لقوانين الهيئة وتختار ألا تنفذ قانون اتفاقية الطيور المهاجرة وقانون حماية النسور الصلعاء والذهبية، وعندما يفشل مسؤولو ولاية كاليفورنيا في إنفاذ قوانينهم الخاصة (أعلنت الولاية النسر الذهبي " كنوع يتمتع بحماية كاملة" و" نوع ذي أهتمام خاص")، فإن الحماية المزعوم توفيرها من قبل القوانين الفدرالية والولائية تصبح مهزلة.

المراجع

References

بيليسر.و هانك." فظائع العدوان البيئي على النسور الذهبية."خاص إلى أس أف قيت. سان فرانسيسكوكرونيكل 8،سبتمبر،2003.

مزرعة رياح أكسل إنرجي بونيكين في شمال شرق كولرادو: telosnet.com/wind

جودة الهواء الأساسية
Basic Air Quality

عادة لا تقلقنا جودة الهواء الذي نتنفسه ما لم نكتشف شيئاً غير طبيعي حوله (رائحته، وطعمه، وأن يصبح التنفس صعباً أو غير مريح) أو ما لم تتصحنا السلطات أو وسائل الإعلام الإخبارية أن ثمة سبباً يدعو للقلق. تسبب ملوثات الهواء في الغلاف الجوي قلقاً كبيراً بسبب الآثار الضارة المحتملة لها على صحتنا.

إن التمتع بهواء صحي هو ميزة لأي مجتمع. تجتذب جودة الهواء الصناعة بالإضافة إلى الناس الذين يبحثون عن أماكن صحية للعيش وتكوين الأسر. لذا تجد أن الدعايات التي تروج لموقع خالٍ من التلوث "هواء نظيف أو طلق" أو "هواء الريف" ليست بالنادرة.

لاحظ أنه وعلى الرغم من أن معظم الناس يفضلون بيئة خالية من التلوث أو هواء نقياً ونظيفاً للعيش فيه، فليسوا كلهم يفعلون ذلك. ومثال جيد على هذا الإستثناء هو حوض لوس أنجلس. كان السكان المحليون يطلقون على منطقة الحوض "وادي الدخان" بسبب نيران المعسكرات والمستوطنات، هذا قبل أن تصبح لوس أنجلس المدينة العملاقة المعروفة اليوم. لم توقف هذه التحذيرات المبكرة حول الظروف المناخية الضارة من الإستيطان. واليوم، لا يحتاج الغريب الوافد إلى لوس أنجلس سوى أن يذهب إلى منطقة الحوض، يترجل من عربة الدفع الرباعي المكيّفة، وأن يضع أقدامه على تيرا فيرما، ومن ثم يأخذ نفساً عميقاً من الهواء – ثم يطلق العنان للسعال والتقيؤ. هل سبق واستنشقت أبخرة

الديزل المختلطة مع إنبعاثات المركبات الآلية والصناعات الأخرى؟ إذاً، مرحباً بك إلى حوض لوس أنجلس – موطن الضباب الفائق. وبسبب الأعداد الغفيرة من البشر الذين قرروا أن يجعلوا حوض لوس أنجلس وكاليفورنيا موطناً لهم، أصدرت لوس أنجلس وكاليفورنيا أحد أكثر القوانين تشدداً على الأرجح في ما يخص متطلبات تلوث الهواء في الولايات المتحدة.

تتأثر جودة الهواء بتلك الأشياء التي يمكن أن نراها بسهولة بأعيننا (الدخان، والضباب)، و بأشياء لا ترى إلا بواسطة المجهر (حبوب الطلع، والميكروبات، والغبار)، وبمواد لا يمكن أن نراها (الأوزون، ثاني أوكسيد الكربون، وثاني أوكسيد الكبريت). تخضع هذه المركبات للوائح قانونية صارمة، ويبدو أن كل يوم يمر يشهد المزيد من اللوائح لمركب جديد أو قديم من قبل الوكالة الأمريكية لحماية البيئة أو سلطة تنظيمية أخرى. كما قد تسمع في نشرة الطقس التلفازية المحلية إشارات إلى "مؤشر جودة الهواء " المحلي.

ملخص الفصل

Chapter Summary

تسبب ملوثات الهواء في الغلاف الجوي قلقاً كبيراً بسبب الآثار الضارة المحتملة لها على صحة البشر. تشمل هذه الآثار الضارة على الصحة الإلتهابات الحادة مثل الصعوبات التنفسية والآثار المزمنة مثل توسع الشعب الهوائية والسرطان. ورغم أن المخاوف الصحية المتعلقة بتلوث الهواء عادة ما تكون في قمة أولويات أي شخص مهتم، فيجب أن نتذكر أن لتلوث الهواء آثاراً ضارة على مناحٍ أخرى من بيئتنا تهمنا أيضاً، مثل الغطاء النباتي، والموارد، وتدهور الرؤية.

هناك مناطق معينة لابد من التطرق إليها في أي مناقشة لجودة الهواء. فأي نقاش عن جودة الهواء لا يشمل مناقشة أنواع ملوثات الهواء، ومصادر ملوثات الهواء، وآليات تلوث الهواء (التشتت، والتحول، والإستنفاذ)، وأجهزة التحكم في

الانبعاثات، ولوائح تنظيم جودة الهواء، وطرق تقييم جودة الهواء المحيط هو نقاش فارغ المحتوى. سنغطي هذه المواضيع بتفصيل في الفصول 11، و 12، و 13، و 14.

أسئلة المناقشة و المشكلات

Discussion Questions and Problems

33- أشرح الطاقة الشمسية الواردة.

34- وضّح القوى التي تنتج حركة الهواء.

35- يوجد فرق كبير بين كمية الطاقة الشمسية التي تسقط على الجزء الخارجي الغلاف الجوي وتلك التي تصل فعلياً إلى سطح ألأرض . لماذا؟

36- لماذا يجب أن يوازن الإشعاع الشمسي الوارد إشعاع الأشعة تحت الحمراء الخارجة وذلك عل مستوى الأرض كلها؟

37- ما هو الدفق النفاث؟ وكيف يتكون؟

38- فرّق بين تيارات الهواء والرياح؟

39- ناقش ميزات وعيوب تحويل طاقة الرياح.

40- كيف تؤثر الجاذبية على جريان الهواء في الغلاف الجوي؟

41- ما هو تأثير كورايوليس؟ وما تأثيره على حركة الهواء؟

42- ناقش قشعريرة الرياح ومؤشر الحرارة.

مواضيع مقترحة للبحث و المشاريع

Suggested Research Topics and Projects

- طوّر تعريفاً موسعاً للهواء
- أفحص العناصر الكيميائية المتنوعة التي يتكون منها الهواء، وحدد من، وما، وأين، ومتى، ولماذا، وكيف تستخدمها الكائنات الحية. وأين تذهب؟ وماذا يفعلون؟ وما هي الوظيفة التي يخدمونها؟

- أفحص لماذا يبدو أننا لا نعتبر النيتروجين مهماً "للهواء " بذات أهمية الأوكسجين.
- إجرِ بحثاً عن الإشعاع الشمسي وكيفية تأثيره على غلافنا الجوي. وقارن ذلك بكيفية تأثيره على الأجسام الكوكبية الأخرى .
- إجرِ بحثاً عن الإشعاع الشمسي وكيفية تأثيره على غلافنا الجوي. وأبحث كيف يمكن أن نستخدم قوته لفائدتنا.
- إجرِ بحثاً عن الأرباح، والتكاليف، والآثار الضارة المرتبطة بالأنواع المختلفة لإنتاج الطاقة، وقارن تكاليف الإنتاج، وسعر الكيلووات، والأرباح المحتملة، والتكلفة البيئية، والتكلفة السياسية.
- أفحص حركة الغلاف الجوي بتفاصيل أكبر.
- أفحص المشاكل المتعلقة بالضباب في مدينة لوس أنجلس.

المراجع المثبتة

Cited References

Miller, G. R., Jr. *Environmental Science*. 10th ed. Australia: Thompson-Brooks/Cole, 2004.

المراجع المقترحة

Suggested References

Anthes, R. A. *Meteorology*. 7th ed., Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, 1996.

Anthes, R. A., J. J. Cahir, A. B. Fraizer, and H. A. Panofsky. *The Atmosphere*. 3rd ed. Columbus, Ohio: Charles E. Merrill Publishing Company, 1984.

Ingersoll, A. P. "The Atmosphere." *Scientific American* 249, no. 33 (1983): 162–74.

Lutgens, F. K., and E. J. Tarbuck. *The Atmosphere, An Introduction to Meteorology*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1982.

Moron, J. M., M. D. Morgan, and J. H. Wiersma. *Introduction to Environmental Science*. 2nd ed. New York: Freeman, 1986.

Shipman, J. T., J. L. Adams, and J. D. Wilson. *An Introduction to Physical Science*. 5th ed. Lexington, Mass.: D.C. Heath & Company, 1987.

الفصل العاشر

علم الأرصاد الجوية
Meteorology

تماماً مثلما أن هنالك أناساً ذوي حاسة شم مشوهة أو فاشلة أو غير موجودة بالمرة هناك آخرون على الطرف الآخر من الطيف الشمي، عباقرة الأنوف، وأشهرهم على الأرجح هي هلين كلر (Helen Keller). والتي كتبت قائلة "إن حاسة الشم تخبرني عن العاصفة القادمة قبل ساعات من ظهور علاماتها. إذ إنني أحس برجفة ترقب وارتجاف خفيف متبوع بتركيز شديد في منخريَّ. وما أن تقترب العاصفة حتي يتسع منخراي لكي يتمكنا من إستقبال فيض الروائح الأرضية التي يبدو وكأنها تتضاعف وتمتد إلى أن أحس بلسعة المطر على خدي. ومع خبو العاصفة وابتعادها شيئاً فشيئاً تخبو الروائح وتصبح أضعف فأضعف إلى أن تذوي بعيداً وراء خط الأفق". ربما تمكن آخرون من شم التغيرات في الطقس أيضاً وبالطبع يمكن اعتبار الحيوانات خبيرة بالإرصاد الجوية كذلك (الأبقار، علي سبيل المثال، تستلقي قبل هبوب العاصفة). والأرض، مثل وحش كاسر بهيم، تنفث العاصفة والبخار. وحينما يكون الضغط الجوي مرتفعاً تحبس الأرض أنفاسها فتختبيء الأبخرة في الشقوق العشوائية للتربة ذات النظام غير المحكم وتتصاعد هذه الأبخرة من جديد حينما ينخفض الضغط وتزفر الأرض. أصحاب الأنوف الحساسة، مثل هيلين كيلر، يشمون الأبخرة المتصاعدة من التربة ويعرفون من تلك العلامة أنه سوف تكون هنالك أمطار، أو أن ثلجاً سوف يتساقط. وربما كانت هذه الطريقة، ولو بصورة جزئية، هي ذاتها الطريقة التي تُعرِّف بها الحيوانات أن زلزالاً سوف يحدث–أي عن طريق شم الأيونات المنبعثة من الأرض .

أكرمان 1990، 44–45

أهداف الفصل

Chapter Objectives

بعد دراسة هذا الفصل ينبغي أن تكون قادراً على أن:

- تُعرِّف، وَتَصف، وتناقش التركيب الكيميائي لجو الأرض وأن تتُعرِّف على الغازات المكونة له وعلى كمياتها.
- تُعرِّف، وتَصف، وتناقش تركيب الجو، والأدوار التي يقوم بها الضغط والكثافة ودرجة الحرارة.
- تُعرِّف ، وتَصف، وتناقش كيفية تأثير الإشعاع الحراري على الظروف الجوية.
- تُعرِّف الألبيدو، وتناقش دوره في الإتزان الإشعاعي للأرض وكيفية تأثيره على متوسط درجات الحرارة السنوي.
- أن تُعرِّف على وتُعرِّف العناصر التي تؤثر على الإتزان الحراري للأرض، وأن تَصف وتناقش كيفية تأثير الإنتقال الطاقي على الجو والظروف المناخية.
- تُعرِّف على مسببات الحركة الجوية، وأن تَصف وتناقش كيف أن هذه المسببات تتسبب في حركة الهواء على المستويات الصغيرة والكبيرة.
- تَصف كيفية تأثر الرياح المحلية بالظروف الجغرافية المحلية.
- تَصف كيفية تأثر جودة الهواء المحلي بتأثير بني البشر على البيئة.

خطة الفصل

Chapter Outline

- مُناقشة: الطقس كمصدر اهتمام رئيسي أو ثانوي.
- مُناقشة وتَعريف: المناخ.
- مُناقشة وتَعريف: المناخ الصغير.
- مُناقشة وتَعريف: علم الأرصاد الجوي و الطقس.

- مُناقشة وتَعريف: ظواهر الطقس
- مُناقشة وتَعريف: النينو و تأثيره على الطقس العالمي.
- مُناقشة وتَعريف: الشمس و تأثيرها المتسبب في الطقس.
- مُناقشة وتَعريف: الجو كبيت دفيئة.
- مُناقشة وتَعريف: الحمل
- مُناقشة وتَعريف: الرياح المحلية و النسيم.
- مُناقشة وتَعريف: التيارات الهوائية.
- مُناقشة وتَعريف: الرطوبة و الرطوبة النسبية.
- مُناقشة وتَعريف: الكتل الهوائية.
- مُناقشة وتَعريف: الإنقلاب الحراري و تلوث الهواء.

المصطلحات الرئيسية Key Terms

تيارات الهواء	air currents	كتلة الهواء	air mass
المناخ	climate	جبهة باردة	cold front
الحمل	convection	جبهة	front
الرطوبة	humidity	علم الأرصاد الجوي	meteorology
الرطوبة النسبية	relative humidity	الإنقلاب الحراري	thermal inversion
جبهة دافئة	warm front	الطقس	weather
الرياح و النسيم	winds and breeze		

مقدمة introduction

يمثل الطقس مصدر اهتمام ثانوي، و رئيسي أحياناً، دائم للكثيرين منا. هل تُعرِّف شخصاً ما "من عينة هيلين كلر" يدعي المقدرة على شمّ التغيرات في الطقس، أو يقول إنه "يحس" بتغير وشيك في الطقس؟ لقد سمعت الناس يتحدثون عن الطقس- هل سمعت أحداً يسأل (في محادثة عادية) عن أحوال الطقس في محل شخص آخر؟ أو يسألك ما إذا تابعت أخبار الطقس المتوقع لعطلة نهاية الإسبوع؟ هل تسلمت خطاباً يتحدث فيه كاتبه عن حال الطقس عنده، أو يسألك فيه عن حال الطقس عندك؟ هل تعلم أن ميل سكان لندن في العهد الفكتوري لورق الحائط المظلل بلون غامق كان ذا صلة بالطقس؟

ولأن الطقس يؤثر علينا جميعاً، سواءً من الناحية الصحية أو العاطفية، فإننا عادة ما نهتم بالتغيرات التي يجلبها لنا من يوم لآخر و من موسم لآخر. و سواءً كنت تُعرِّف شخصاً ما يستطيع أن يشم أو يحس بالتغيرات في الطقس، فإن الناس يناقشون ظروف الطقس بصورة يومية. نحن نهتم كذلك بظروف الطقس في مدن الآخرين (خصوصاً الطقس الشيء)، وينتقل الناس من مكان لآخر أيضاً بسبب الطقس. ولكن أهذا صحيح؟ هل يتنقل الناس بسبب الطقس في موضع ما، أم ينتقلون بسبب المناخ؟

دعنا نلقي نظرة على المناخ للحظة. هل حدث و سألت شخصاً ما عن المناخ في منطقته، في حين كنت تقصد السؤال عن الطقس؟ نحن في العادة لا نخلط بين الإثنين. حينما نسأل عن الطقس فإننا نقصد بذلك التغيرات المؤقتة في درجة الحرارة، وهطول الأمطار، والرياح التي تحدد ما إذا كان ينبغي لنا أن نصطحب مظلة أو نرتدي معطفاً ثقيلاً. يعتمد بعض الناس بشدة على علماء الأرصاد المحليين وعلى نشرات الطقس المتوقع: وفي الواقع، بسبب من هذا الإعتماد، أصبح هناك فرع كامل من العلوم (ذو حضور واضح) مسخر فقط للمجهودات التي تحاول التنبؤ بالطقس–تلك المهمة الصعبة، بسبب المتغيرات

الكثيرة التي ينبغي وضعها في الحسبان.

حاول أن تُعرِّف المناخ والطقس. لا يملك معظم الناس إحساساً بالمعاني الدقيقة و بالفروق بين المناخ والطقس. هذان المصطلحان ومعانيهما وفروقهما الدقيقة، والعناصر المكونة لكل منهما هي موضوع هذا الكتاب. كما أنه لا غنىً عن فهم كيفية تأثير الطقس على تلوث الهواء من أجل الدراسة الأساسية للتلوث وكيفية تأثيره على بيئتنا.

دراسة حالة Case Study 1.10

شنك–فيري: المناخ المحلي على أرض الواقع

Shenk's Ferry: A Microclimate in Action

تقع محمية شنك–فيري (Shenk’s Ferry) للزهور البرية في مقاطعة جنوبي لانكستر، ببنسلفانيا وفي وادٍ محمي ينتهي عند نتوء جبلي منخفض و خط سكة حديد عند نهر سوسكويهانا. الهكتارات الخمسون التي تمتلكها شركة بنسلفانيا للطاقة والكهرباء و التي تحافظ عليها كمشروع للمحافظة البيئية– محمية من عدة أوجه–بفعل القانون وبفعل الطبيعة. الوادي، الذي يتوسطه غدير غربرن الذي يدخل الوادي عبر ما كان ذات مرة معبراً طبيعيا في جانب التلة وأضحى الآن مجازاً حجرياً سفلياً، يبدأ على بعد ميل أو إثنين من نهر سوسكويهانا، ويتميز بوجود نتوءات عالية منحدرة على جانبيه، والدخول إلى الوادي من ناحية النهر غير ممكن إلا بعبور مسار القطار أو بالمرور من طرق غير معبدة ملأى بالتراب و الحصى.

النتوءات الجبلية التي تشكل المتراس لهذا الوادي تُدوِر الرياح السائدة حول شنك–فيري، بينما يدفئ التعرض الجنوبي الهواء، مكوناً موضعاً معزولاً، أكثر دفئاً بسبع إلى عشر درجات مئوية عند منحدرات الوادي من المناطق الخارجية في بداية الربيع، حينما تكون الأشجار أرفع. كل الأزهار البرية التي تنمو في العادة في مقاطعة جنوبي لانكستر يلائمها أن تنمو في هذا الوادي، والإحتمال

الأرجح أن هذه الأزهار سوف تزهر وتتكاثر بكميات كبيرة هناك. وعلى الرغم من ذلك، يوفر الغدير ذو النفق الذي يسمح بانسيابه إلى الطرف الأعلى من الوادي، تدويراً للهواء عند الوادي كذلك، لذلك ينساب النسيم ويتسبب هو والظل الكبير في جعل الوادي أبرد بمقدار عشر إلى خمس عشرة درجة في الصيف.

يمر معبر منخفضاً للمشاة عبر نتوء جبلي فوق الغدير؛و تميل الأرض لأعلى ولأسفل بشكل حاد، و تسهل رؤية انحدار متدرج من الجانب المقابل للغدير من ناحية الفرجة الغابية. تجذب الممرات العرضية المستكشفين إلى المناطق العالية من المحمية، أو إلى أسفل الغدير نفسه. ممر المشاه ليس بالطويل جداً إذ يمتد لمسافة ميل و نصف، و يتبع الغدير إلى أن يرتفع الطرف الأعلى من الوادي بصورة متدرجة عبر أشجار العليق و الأجمة والبلاب السام. و لكي يصل المشاة إلى الجانب الآخر من الغدير يتوجب عليهم أن يشقوا طريقهم عبر أشجار العليق و الأجمة مخترقين المجاز السفلي ذا القاع الحجري. يختفي مسار المشاة بعدئذ، و يصبح عبور هذه النقطة عبوراً لبقعة تتناثر فيها الجلاميد الصخرية.

التنوع الأحيائي (biodiversity) في هذا الوادي مذهل، إذ ينمو ما يربو عن مائة و ثلاثين نوعاً من أزهار بنسلفانيا البرية في الوادي المحمي الظليل المشمس بسبب المناخ المحلي ناشرة بذورها المرة تلو الأخرى. تكثر في هذا الوادي الأزهار الشائعة مثل الزنبق (daylilies) و إبرة الراعي (wild geranium)، كما توجد فيه مجمعات معزولة من أزهار خاتم سليمان (Solomon’s seal)؛ و تلال على مد النظر ملأى بأزهار أجراس فرجينيا الزرقاء (virginia bluebells) وإنتشارات تلقائية لأزهار بنطال الهولندي (Dutchman’s (breeches)، وتكتلات من أزهار البفسج البيضاء (White violet) و الصفراء (yellow violet) والزرقاء (Blue violet)، و أزهار بنفسج سن الكلب (Dog tooth violet) و عود ذرة السنجاب (Squirrel

والقبس البري الأزرق (wild blue phlox)، كما توجد هناك أنواع (corn أكثر ندرة مثل زهرة الدموية (Blood root)، و قبقاب الست Lady's) (slippers، وأزهار كوهوش الزرقاء (Blue cohosh) وثلاث أنواع من أزهار التريليوم (Trillium) والسرخس (Ferns).

علم الأرصاد الجوية: علم الطقس
Meteorology: The Science of Weather

علم الإرصاد الجوية هو العلم الذي يعنى بالطقس وظواهره، يراقب علماء الإرصاد درجة حرارة الجو، والكثافة، والرياح، والسحب، وهطول الأمطار، والخصائص الأخرى ويسعون إلى تفسير بنيتها وتقيمها(حتي ولو بصورة جزئية) من حيث التأثيرات الخارجية والقوانين الأساسية للفيزياء. تؤثر الظواهر الجوية على الخصائص الكيميائية للجو.

الطقس (Weather)، هو حالة الجو في ما يخص تأثيره على الحياة وعلى الأنشطة البشرية. يمكن التفريق بين **المناخ** Climate (المظهر الطويل المدى للطقس) وبين الطقس الذي يتكون من اختلافات قصيرة الأمد في حالة الجو. يُعَرَف الطقس، بصورة رئيسية، بالحرارة (درجة الحرارة)، وبالضغط، وبالسحب، وبالرطوبة، وبالرياح، وببخار الماء، وتلك هي العناصر التي يصنع منها الطقس. في الإرتفاعات العالية جداً فوق سطح الأرض، حيث يصبح الجو واهياً يشابه الفراغ، لا يوجد طقس.الطقس هو ظاهرة مهمة في المنطقة القريبة من سطح الأرض. ونحن نرى ذلك كل يوم حينما نراقب الطقس دائم التغير، بعنف عادة، وبصورة رومانسية أحياناً، وهو يمر عبر بيئتنا.

في دراسة علم البيئة، وبالأخص في دراسة جودة الهواء (وخصوصاً ما يتعلق بدراسة تلوث الهواء في منطقة معينة) ترتبط العوامل المحددة بصورة مباشرة بديناميكيات الجو– الطقس المحلي. وهذه العوامل المحددة تشمل قوة الرياح،

واتجاه هبوبها ودرجة الحرارة، وضوء الشمس المتوفر(الذي يحتاج إليه لقدح زناد التفاعلات الكيميائية الضوئية التي تنتج الضبخان)، وطول الفترة الزمنية منذ حدوث آخر حدث في الطقس(الرياح القوية والأمطار الغزيرة).

أحداث الطقس غير المدمرة (التي تشمل الرياح القوية والأمطار الغزيرة) التي تعمل على تنظيف الهواء الذي نتنفسه لها تأثير إيجابي كما هو واضح. إلا أن قلةً قليلة من الناس تصنف أحداث الطقس مثل الأعاصير والزوابع والعواصف الإستوائية بوصفها ذات فائدة. أحداث الطقس الأخرى قد يكون لها أثر إيجابي وآخر سلبي. ومثال هذا النوع الأخير هو "النينو" الذي سوف نناقشه في دراسة الحالة 2.10

دراسة الحالة Case Study 2.10

النينو El Nino

النينو ظاهرة طبيعية تحدث في فترة تتراوح بين كل عامين أو كل تسعة أعوام بصورة غير منتظمة ولا يمكن التنبؤ بها. وتتعلق بإحترار مياه السطح في شرقي المحيط الهادئ. النينو، يتسبب في تشتيت الأسماك تجاه المياه الأبرد، الشيء الذي يتسبب بدوره في تشريد الطيور البالغة التي تتغذى على هذه الأسماك بحثاً عن مصادر غذاء أخرى. و عبر شبكة معقدة من الأحداث، يمكن أن يكون للنينو (والذي يعني أسمه الطفل في اللغة الأسبانية لأنه يحدث عادة في أيام عيد الميلاد عند سواحل الإكوادور وبيرو) أثر مدمر على كل أنواع الحياة المائية.

في الأعوام العادية، تراكم الرياح التجارية المياه السطحية الدافئة في غربي المحيط الهادئ. وتطلق السحب الداكنة (المزن) الحرارة و وابلاً (torrents) من الأمطار. الأمر الذي يفاقم الفرق في درجة الحرارة، قديماً بذلك الدورة.

ويحفز هبوب تيار النفث (Jet stream) من شرق آسيا إلى كاليفورنيا.

هذا وفي العام الذي يحدث فيه النينو، تضعف الرياح التجارية، الشيء الذي يسمح للمياه الدافئة بالحركة شرقاً مما يقلل من اختلاف درجة الحرارة بين الشرق والغرب. كما يزيد جذب تيار النفث جنوباً ويلتقط عواصف، لا يلقاها في طريقه عادةً، وليحملها معه إلى كندا أو كاليفورنيا. وتصل المياه الدافئة في النهاية إلى أمريكا الجنوبية.

إحدى أولى الدلائل على ظهور النينو هي الرياح التي تنزاح على امتداد خط الإستواء في المحيط الهادئ. تعكس الرياح الشرقية اتجاهها وتجر وراءها كتلة من الماء الدافئ نحو الخط الساحلي لأمريكا الجنوبية. تكون الكتلة المائية الدافئة الضخمة، بصورة أساسية، حاجزاً يمنع إنتقال المياه الباردة الغنية بالمغذيات من قاع المحيط إلى سطحه. نتيجةً لذلك، يتضائل بشدة نمو الطحالب المجهرية التي تزدهر عادةً في مناطق الإنقلاب الغنية بالمغذيات، الشيء الذي يحد من الإمداد الغذائي لعدد من أشكال الحياة البحرية ويؤثر بصورة متزايدة على الكائنات الحية الموجودة أعلى السلسلة الغذائية. لهذا النقص عواقب أخرى، إذ تم ربط النينو بأنماط من الجفاف والفيضانات والعواصف الإستوائية وأحداث جوية متطرفة ومكلفة أخرى حول العالم. إلق نظرة على أثر النينو على الساحل الغربي من الولايات المتحدة الأمريكية حيث أُلقي اللوم على النينو في حدوث الأعاصير و الفياضانات و سقوط الثلوج المبكر. و من الناحية الإيجابية، عادة ما يجلب النينو أخباراً جيدة للقاطنين على الساحل الشرقي من الولايات المتحدة: تخفيف في عدد و شدة الأعاصير. النينو، ظاهرة لم يتسنَّ للعلماء فهمها بصورة مكتملة بعد، و له تبعات إيجابية و أخرى سلبية، إعتماداً على المكان الذي تعيش فيه.

الشمس: مولدة الطقس
The Sun: The Weather Generator

تشتق جميع الكائنات الحية و النباتات حياتها من الشمس. و لو لم تكن الشمس موجودةً، لحلت الظلمة و لم يستطع أي شيئ أن ينمو، ولخلت الأرض من الحياة.

–أوكيوت، تيتون سيوكس

الشمس هي القوة الدافعة للطقس. وبدون توزيع وإعادة توزيع الطاقة الشمسية في الفراغ، لا يكون للطقس (كما نعرفه) أي وجود. الشمس هي مصدر معظم الحرارة في الأرض. ومن كميات الطاقة المهولة التي تولدها الشمس، تصطدم كميات قليلة فقط بسطح الأرض إذ تُفقد معظم الطاقة الشمسية في الفضاء. ويحول ما يزيد عن 40% بقليل من الشعاع الشمسي الواصل إلى الأرض إلى حرارة. و يمكث الباقي في الجو أو يعكس إلى الفضاء.

مثلها مثل بيت الدفيئة، تتقبل الأرض معظم الإشعاع الشمسي. وحينما يمتص الإشعاع الشمسي بواسطة سطح الأرض، يعاد إطلاقه في شكل موجات حرارية، يحتجز معظمها بواسطة ثاني أوكسيد الكربون وبخار الماء الموجودين في الجو، الأمر الذي يبقي الأرض دافئة.

بوصولك إلى هذه النقطة في دراستك، لا بد أنك قد أصبحت ملماً بالوظائف التي يقوم بها جو الأرض، وبالدور المهم الذي يقوم به في تنظيم الإمداد الحراري للأرض. يحمي الجو الأرض من الإشعاع الشمسي الزائد نهاراً، و يمنع معظم الحرارة من أن تهرب ليلاً. ولولا هذه الخواص العازلة و المنقية للجو، لقاست الأرض أجواءاً متطرفة تشابه تلك الموجودة في الكواكب الأخرى من نظامنا الشمسي.

تبرد الأرض بصورة أسرع في الليالي الصافية مقارنةً بالليالي التي تكثر فيها

السحب، لأن الغطاء السحابي يعكس مقداراً ضخماً من الحرارة إلى الأرض، حيث تتم إعادة امتصاصه. يسخن جو الأرض عادة بالتماس مع الأرض الدافئة. و حينما يسخن الهواء يتمدد و يصبح أكثر خفة. يرتفع الهواء الذي يسخن بالتماس مع الأرض إلى أعلى و يحل محله الهواء البارد الذي ينساب إلى أسفل. تستمر هذه الدورة و تنتج تدويراً للهواء البارد و الساخن يعرف بالحمل (**convection**).

يستقبل الهواء الموجود عند خط الإستواء حرارة أكثر بكثير من تلك التي يستقبلها الهواء الموجود عند القطبين. ويتم إستبدال هذا الهواء الساخن الموجود عند خط الإستواء بالهواء البارد المنساب من الشمال إلى الجنوب. يرتفع الهواء الساخن إلى أعلى متجهاً ناحية القطبين. و مع تبريد الهواء، ينزل إلى أسفل ليحل محل هواء السطح الذي تحرك نحو خط الإستواء.

تتسبب الحركة الدائرية للهواء البارد و الساخن (الحمل) والفرق في التسخين الرياح (winds) والنسيم (breeze) المحليين. ويتم امتصاص كميات مختلفة من الحرارة بواسطة الأسطح الأرضية والمائية المختلفة. على سبيل المثال، تمتص الترب الداكنة التي تم حرثها حديثاً الحرارة بدرجة تفوق بكثير درجة امتصاص الحقول المعشبة للحرارة. كما تسخن الأراضي بصورة أسرع من الماء خلال النهار وتبرد بدرجة أسرع منه ليلاً كذلك. يترتب على ذلك، أن الهواء فوق هذه الأسطح يبرد ويسخن، الشيء الذي تنتج عنه الرياح المحلية.

لا ينبغي أن نخلط بين الرياح و تيارات الهواء. توجه الرياح، بصورة أساسية، نحو الإنسياب الأفقي، بينما تتولد تيارات الهواء من الحركة للأعلى وللأسفل. ولكلا الرياح و التيارات الهوائية تأثير على تلوث الهواء، الذي تحمله و تنشره الرياح. وأحد العوامل الهامة في تحديد المناطق المتأثرة بمصدر تلوث الهواء

هو اتجاه الرياح. و بما أن تلوث الهواء هو مشكلة عالمية، فإن اتجاه الرياح على مستوى عالمي أمر ذو أهمية (إنظر الشكل 1.10).

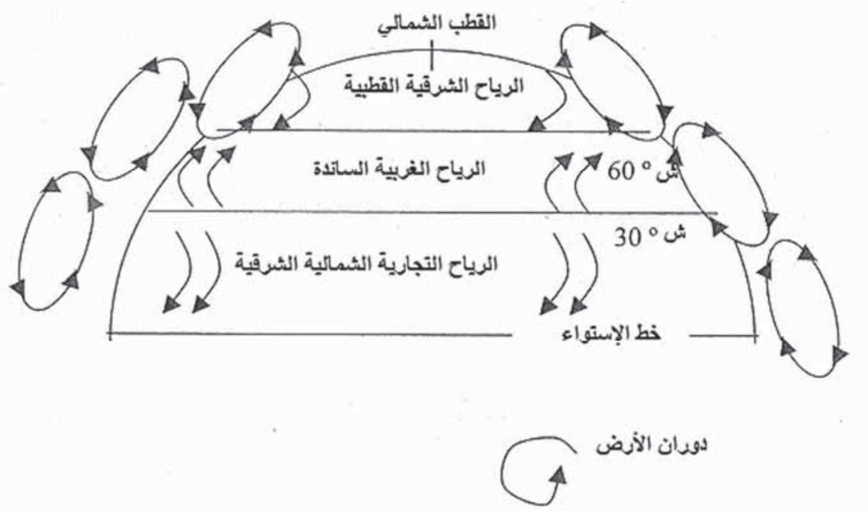
أحد المكونات المهمة ذات الصلة بجو الأرض هو الماء. والماء موجود دائماً في الجو. وهو يتبخر من الأرض، ويغطي ثلثي مساحتها. يوجد الماء في الهواء في حالات ثلاث: صلبة، وسائلة، و في شكل بخار غير مرئي.

تسمى كمية الماء الموجودة في الهواء بالرطوبة (humidity) . و الرطوبة النسبية (Relative Humidity) هي نسبة الماء الموجود في الهواء إلى كمية الماء الكافية لإحداث التشبع عند نفس درجة الحرارة. بمقدور الهواء الساخن أن يحمل كمية ماء أكبر من تلك التي يحملها الهواء البارد. و حينما يبرد هواء فيه كمية معينة من بخار الماء فإن رطوبته النسبية تزيد؛ و حينما يسخن الهواء، فإن رطوبته النسبية تقل.

كتل الهواء Air Masses

الكتلة الهوائية هي جسم ضخم من الهواء (ضخم بدرجة تسمح أن يكون له تضمينات مؤثرة على مستوى كوني) تساوى ظروف درجة الحرارة و كمية الرطوبة، عند جميع نقاطه، في الاتجاه الأفقي. تتأثر الكتلة الهوائية و تأخذ نفس خصائص درجة حرارة و رطوبة السطح الذي تتكون عليه، بالرغم من أن الكتلة الهوائية تميل إلى المحافظة على خصائصها الإبتدائية.

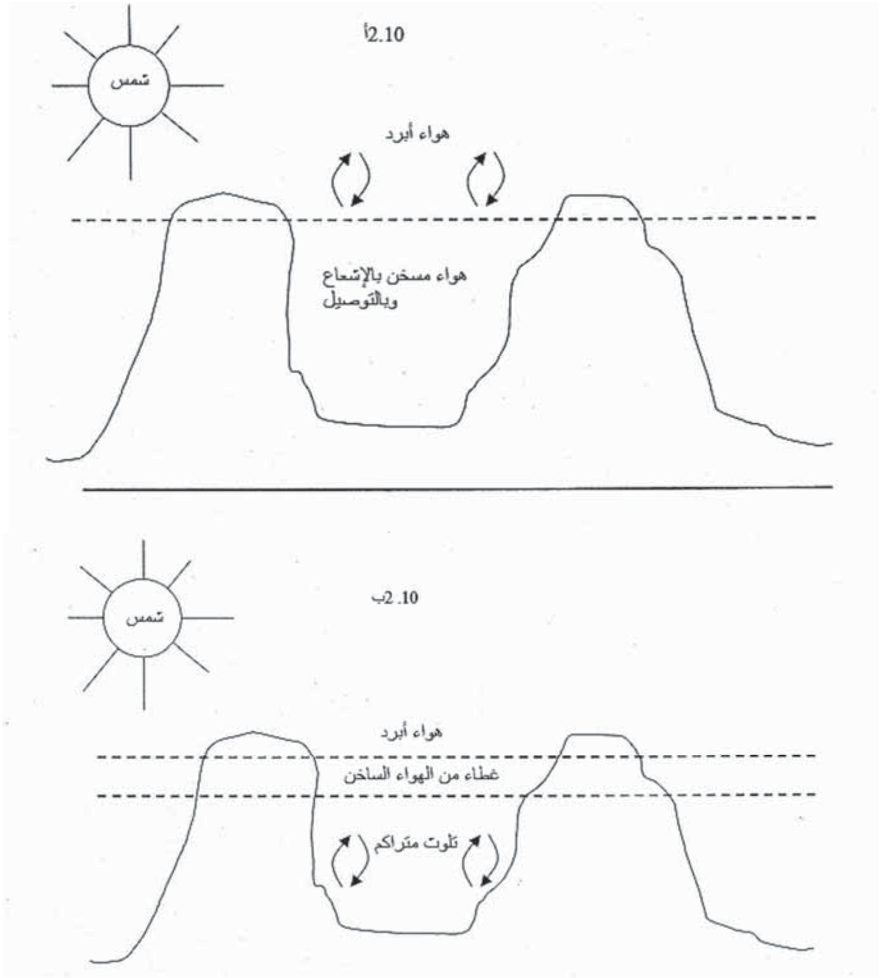
تتكون الجبهة (front)حينما تصتدم كتلتان هوائيتان. و تعلِم الجبهة الباردة (cold front) خط التقدم من أسفل الكتلة الهوائية الباردة عندما تحل محل كتلة هوائية ساخنة. بينما تعلِم الجبهة الدافئة (warm front) تقدم الكتلة الهوائية الدافئة حينما ترتفع فوق كتلة باردة.



الشكل 1.10. اتجاهات الرياح في النصف الشمالي من الكرة الأرضية

الانقلاب الحراري و تلوث الهواء
Thermal Inversion and Air Pollution

خلال النهار تسخن الشمس الهواء الموجود بالقرب من سطح الأرض. و في العادة، يتمدد هذا الهواء المسخن و يرتفع خلال اليوم مخففاً بذلك تركيز الملوثات الواقعة على ارتفاع منخفض و رافعاً لها لأعلى الجو. ثم يهبط الهواء من المناطق المحيطة ذات الضغط العالي إلى المناطق ذات الضغط المنخفض التي تتكون حينما يرتفع الهواء الساخن (إنظر الشكل 2.10 أ). يساعد هذا الخلط المتواصل للهواء في منع وصول تراكيز الملوثات إلى مستويات خطرة في الهواء القريب من الأرض.



الشكل 1.10(أ): تسخن الشمس الهوا ء عند سطح الأرض الذي يصعد ليختلط مع الهواء الأبرد فوقه. في الإنقلاب الحراري (ب)، تشكل طبقة من الهواء الساخن غطاءاً فوق الأرض، و لا يستطيع الهواء الأبرد الموجود عند السطح الإختلاط بالهواء الأسخن فوقه. يتم إحتجاز الملوثات.

إلا أنه يحدث في بعض الأحيان أن تحتجز طبقة كثيفة من الهواء، تحت طبقة من الهواء الساخن تقل عنها كثافةً في وادياً أو في حوض حضري. تدعى هذه الحالة بالإنقلاب الحراري (Thermal inversion) (إنظر الشكل 2.10 ب). وينتج عن ذلك تكون غطاء من الهواء الساخن فوق المنطقة، الشيء الذي يمنع الملوثات من الهروب مع التيارات الهوائية المتجهة لأعلى. وعادة ما تحتجِز

هذه الإنقلابات ملوثات الهواء عند المستوى الأرضي لفترة وجيزة من الزمن. إلا أنها تمكث أحياناً لفترة قد تمتد لعدة أيام، حينما تتوقف كتلة هوائية ذات ضغط عالٍ فوق منطقة ما، حينها تحتجز ملوثات الهواء عند المستوى الأرضي الشيء الذي يراكم منها ويبلغ بتراكيزها إلى درجات خطيرة.

أشهر المناطق التي تحدث فيها الإنقلابات الحرارية بصورة شبه يومية في الولايات المتحدة هي منطقة حوض لوس أنجلس. حوض لوس أنجلس هو وادٍ يقع بالقرب من ساحل المحيط الهادئ، وهو حوض ذو مناخ دافئ و رياح خفيفة، و محاط بالجبال. مدينة لوس أنجلس نفسها هي مدينة ضخمة فيها عدد ضخم من السكان و من السيارات–كما تمتلك لوس أنجلس الظروف المثالية لتكون الضبخان، الظروف التي تفاقمها الإنقلابات الحرارية المتكررة.

نقطة مثيرة للإهتمام: ذكرنا سابقاً أن ميل سكان لندن في العهد الفيكتوري لورق الحائط ذي اللون الداكن كان ذا صلة بالطقس، وفي الواقع، كان استخدام هذا النوع من الورق محاولة ذكية للحد من التأثير البصري للرواسب القذرة التي خلفها تلوث الهواء.

خلاصة الفصل

Chapter Summary

أحد الأسباب التي تفسر ولع الكثير من الناس بالطقس هو عدم مقدرتهم على التحكم به مع أننا نتأثر بشدة بالطقس. فهو يحدد نوع الملابس التي نرتديها ونخطط حياتنا حوله. كما يجبرنا أيضاً على العمل، في نزح الثلج، وتجميع أوراق الأشجار المتساقطة، وفي زرع الأشجار الجديدة إعتماداً عليه أيضاً. كما نزور الأماكن المختلفة أو نغادر كليةً بسببه. الطقس هو أول ما نستهل به أحاديثنا بعد"كيف حالك؟". كما نحكي النكات عنه (إذا كنت لا تحب الطقس في[ضع إسم منطقتك هنا] لا تذهب بعيداً، إنه سوف يتغير). إلا أننا لا نستطيع تغييره. بينما يستطيع هو تغييرنا.

يخيفنا هذا، بالطبع، أحياناً، لأننا نعلم أن بمقدور الطقس بدرجات حرارته، وسرعاته، وأمطاره المتطرفة أن يدمرنا. الزوابع و الأعاصير، و الأمطار الشحيحة أو الزائدة عن الحد، والثلج الغزير، والبرد القارس أو الحر اللافح جميعها تدمر و تحطم و تقتل. و كل ما يمكننا فعله هو الإختباء في ملجأ من الظروف الجوية الصعبة و إعادة البناء عندما تمر هذه الظروف، أو أن نزرع من جديد و نأمل في حدوث الأفضل.

الطريقة الوحيدة التي يمكننا أن نؤثر بها على الطقس هي طريقة مؤذية لنا، إذ بمقدورنا أن نضخ الملوثات في الهواء، بحيث يصبح حتى الطقس غير المتطرف مؤثراً علينا بصورة سالبة كذلك.

أسئلة المُناقشة و مشكلات
Discussion Questions and Problems

1. تُعرِّف على الطرق المختلفة التي تضاف أو تزال بها الحرارة من الجو.
2. لكل الأرض، لماذا ينبغي أن يوازن الشعاع الشمسي الداخل الأشعة تحت الحمراء الخارجة.
3. مستخدماً تعابيرك الخاصة إشرح العبارة الأتية: تدفع الشمس الجو.
4. كيف تنقل الحرارة الفائضة من سطح الأرض؟
5. لماذا يشكل تلوث الهواء مشكلة كبيرة في المناطق الحضرية؟
6. ما هي القوى التي تؤثر على الحركة الأفقية للهواء؟
7. هل يتغير تكوين الهواء؟ إشرح إجابتك.
8. لماذا تختلف طبيعة الرياح الأرضية مقارنةً بالرياح الموجودة في المناطق المرتفعة؟

مواضيع أبحاث مقترحة و مشاريع

Suggested Research Topics and Projects

- طور تَعريفاً موسعاً: الطقس/المناخ.
- أجرِ بحثاً حول موقع بعينه تؤثر فيه طبيعة اليابسة و الطقس على جودة الهواء و على تلوثه.
- قارن التغطية الإعلامية لظاهرة النينو مع وجهات النظر العلمية.
- أجرِ بحثاً عن مسببات و آثار النينو.
- تحصل على بحث محدد عن أثر النينو على الكائنات الحية في المحيط.
- أجرِ بحثاً عن آثار النينو على الساحل الشرقي للولايات المتحدة الأمريكية مقارنةً بأثره على الساحل الغربي لها.
- أجرِ بحثاً عن تأثيرات النينو على المواقع الجغرافية الأخرى- أمريكا الجنوبية، على سبيل المثال.
- أجرِ بحثاً عن تاريخ أنماط الطقس المرتبطة بالنينو.
- أجرِ بحثاً عما يعتقد الباحثون حدوثه في ظاهرة النينو.
- أجرِ بحثاً عن الضبخان في لوس أنجلس.
- أجرِ بحثاً عن الأنماط المناخية طويلة الأمد-البحث العلمي في النظريات التي تدرس تاريخ المناخ.
- إكتشف الآثار التي سوف تترتب على العودة إلى الظروف المناخية التي كانت شائعةً في ما مضى (العصر الجليدي، مثلاً).

المراجع المثبتة
Cited References

Ackerman, D. *A Natural History of the Senses*. New York: Random House, 1990.

المراجع المقترحة
Suggested References

Anthes, R. A., J. J. Cahir, A. B. Frasier, and H. A. Panofsky. *The Atmosphere*. 3rd ed. Columbus, Ohio: Charles E. Merrill Publishing Co., 1984.

Battan, L. J. *Weather in Your Life*. New York: Freeman, 1983.

Budyko, M. I. *The Earth's Climate*. New York: Academic, 1982.

Gates, D. M. *Energy Exchange in the Biosphere*. New York: Harper & Row Monographs, 1962.

Ingersoll, A. P. "The Atmosphere." *Scientific American* 249, no. 3 (1983): 162–74.

Kondratyev, K. Y. *Radiation in the Atmosphere*. New York: Academic, 1969.

Moran, J. M., and M. D. Morgan. *Essentials of Weather*. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, 1994.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). *U.S. Standard Atmosphere*. NOAA S/T 76-1562, 1976.

National Research Council. *Solar Variability, Weather, and Climate*. Washington, D.C.: National Academy Press, 1982.

———. *Understanding Climatic Change: A Program for Action*. Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 1975.

الفصل الحادي عشر

ملوثات الجو

Atmospheric Pollutants

التأثير طويل المدى للزيادة في كمية ثاني أوكسيد الكربون في الجو

Long-Term Impact of Increased Atmospheric CO_2

إذا استمرت المستويات الحالية لانبعاث ثاني أوكسيد الكربون (CO_2) في القرن القادم، فإن مناخ العالم قد يسخن لعدة مئات من السنين. دلت الدراسات الحديثة على حدوث تغيرات عميقة في جريان المياه في المحيطات، و قد يؤدي ذلك إلى تغيير دورات الكربون. تقترح هذه النتائج أنه إذا استمرت النزعات الحالية لانبعاثات غاز الدفيئة على امتداد القرن القادم، فإن التراكيز الجوية لثاني أوكسيد الكربون أو الغازات المكافئة الأخرى له سوف تزداد بمقدار الضعفين. سوف تتزايد درجات الحرارة، بما قد يصل إلى 7 درجات مئوية في ما بين 500–600 عام. سوف ترتفع مستويات البحار بمعدل مترين بسبب التمدد الحراري للمحيطات وحده. والأمر الأكثر إثارة للقلق، هو أن المحيط سوف يستقر على نسق ثابت، إذ سوف تكف المياه السطحية والمياه العميقة عن الإمتزاج. ويمكن لهذا أن يؤثر بصورة سالبة على النشاط الحيوي في البحار، وتنقص بذلك مقدرة المحيط على امتصاص ثاني أوكسيد الكربون، وتغير دورة الكربون في الأرض. مانابي و ستوفر 1993، 215–18

أهداف الفصل

Chapter Objectives

بعد قراءة هذا الفصل ينبغي أن تكون قادراً على أن:

- تتعرف على الأنواع الرئيسية الأولية والثانوية للملوثات الجوية، ومصادرها، وتركيبها الكيميائي، وتأثيرها على صحة البشر والبيئة.

- تتعرف على وتناقش معايير الهواء المحيط الوطنية، و الغرض منها، وتأثيرها، وحدودها.
- تعرف، وتصف، أو تناقش بالتفصيل ثاني أوكسيد الكبريت، ومصادره الطبيعية والبشرية، وتأثيراته على صحة البشر والبيئة.
- تعرف، وتصف، وتناقش بالتفصيل مركبات أكاسيد النتروجين المهمة في التلوث الجوي و مصادرها الطبيعية والبشرية و تأثيراتها على صحة البشر و البيئة.
- تعرف، وتصف، وتناقش بالتفصيل أول أوكسيد الكربون ومصادره الطبيعية والبشرية وتأثيراته على صحة البشر والبيئة.
- تعرف، وتصف، وتناقش بالتفصيل المركبات العضوية المتطايرة ومصادرها الطبيعية والبشرية وتأثيراتها على صحة البشر والبيئة.
- تعرف، وتصف، وتناقش بالتفصيل الضبخان الكيميائي الضوئي، وعلاقته بالأوزون، والمظاهر السلبية والإيجابية للأوزون والمشاكل البيئية والصحية المرتبطة بها، والمصادر الطبيعية والبشرية للضبخان الكيميائي الضوئي.
- تعرف، وتصف، وتناقش بالتفصيل أهمية محتوى التروبوسفير من الأوزون.
- تعرف، وتصف، وتناقش بالتفصيل ثاني أوكسيد الكربون و مصادره الطبيعية و البشرية وتأثيراته.
- تعرف، وتصف تسعة أقسام من أقسام المواد الحبيبية وهيئاتها، ومصادرها، وآثارها.

- تعرف، وتصف، وتناقش الرصاص من المصادر البشرية و تأثيراته على صحة البشر والبيئة.
- تعرف، وتصف بالتفصيل الدور المهول الذي تقوم به السيارات في شأن مسببات ومصادر التلوث الجوي.

خطة الفصل
Chapter Outline

- مناقشة: تلوث الهواء وتأثيره طويل المدى.
- مناقشة: ملوثات الهواء الرئيسية ومصادرها.
- تعريف ومناقشة: تاريخ وأهمية المعايير الوطنية للهواء المحيط، والملوثات الرئيسية والثانوية.
- تعريف ومناقشة: ثاني أوكسيد الكبريت، مصادره، والضرر الذي يتسبب به للبيئة.
- تعريف ومناقشة: أكاسيد النتروجين، والمخاطر التي تترتب عليه، و مشاكل التحكم في المصدر.
- تعريف ومناقشة: المشاكل الصحية التي يتسبب فيها أول أوكسيد الكربون، ومصادره الطبيعية والإصطناعية.
- تعريف و مناقشة: مصادر المركبات العضوية المتطايرة و المشاكل الذي تتسبب فيها.
- تعريف و مناقشة: الأوزون، مصادره، ومشاكل التلوث والنضوب المرتبطة به، وأنساق تراكيز الملوثات الغازية المتسببة في الضبخان الكيميائي.

- تعريف و مناقشة: كيف تؤثر زيادة الإحتراق على مستويات ثاني أوكسيد الكربون.
- تعريف و مناقشة: المادة الحبيبية، تكوينها، ومصادرها المتعددة، ووصفها.
- تعريف و مناقشة: الرصاص، أثره على النباتات والحيوانات، ومعايير الإنبعاث.

المصطلحات الأساسية

Key Terms

Lead	الرصاص	acid rain	المطر الحمضي
methane	ميثان	anaerobic	غير هوائي
National Ambient Air Quality Standards	المعايير الوطنية لجودة الهواء المحيط	carbon monoxide	أول أوكسيد الكربون
hydrocarbons	الهيدروكربونات	Clean Air Act	قانون الهواء النظيف
secondary standards	المعايير الثانوية	nitrogen oxide	أوكسيد النتروجين
smog	الضبخان	ozone	الأوزون
sulfur dioxide	ثاني أوكسيد الكبريت	ozone hole	ثقب الأوزون
sulfurous smog	الضبخان الكبيرتي	particulate matter	المادة الحبيبية
thermal NO_x	أكاسيد النتروجين	photochemical reaction	التفاعل

الكيميائي الضوئي		الحرارية	
الضبخان الكيميائي الضوئي	photochemical smog	المركبات العضوية المتطايرة	volatile organic compounds (VOC_s)
الملوثات الرئيسية	primary pollutants	المعايير الرئيسية.	Primary standards

مقدمة
Introduction

في الماضي، وبدرجة أقل في الحاضر، مثلث المداخن وهي تنفث الأبخرة منظراً يبعث على الراحة: عنى المزيد من الدخان المزيد من العمل، الشيء الذي يدل على اقتصاد معافى. إلا أن العديد منا تزعجهم الآن الأدلة على أن الهواء الملوث يضر بصحتنا بشدة (تمثل العديد من الغازات السامة والجسيمات الدقيقة خطراً على صحتنا: السرطان، والتشوهات الجينية، والأمراض التنفسية). كما تضر أكاسيد الكبريت، والأوزون، والملوثات الهوائية الأخرى الناتجة من الوقود الأحفوري بغاباتنا، ومحاصيلنا، وترباتنا، وبحيراتنا، وأنهارنا، ومياهنا الساحلية، ومبانينا. تثقب كلورات فلورات الكربون والملوثات الأخرى التي تدخل الغلاف الجوي طبقة الأوزون التي تحمي الأرض، مما يسمح للمزيد من الأشعة فوق البنفسجية الضارة بالوصول إلى سطح الأرض. وكما أشرنا في فاتحة هذا الفصل، يزيد إحتراق الوقود الأحفوري من كميات ثاني أوكسيد الكربون في الغلاف الجوي، الشيء الذي يمكن أن يكون له أثر سلبي بعيد المدى. تاريخياً، أحس العديد منا بأن الهواء يتجدد (عبر التفاعل مع الغطاء النباتي والمحيطات) بكميات كافية لتعويض الملوثات ذات المنشأ البشري التي

تدخل إلى الغلاف الجوي. إلا أن هذا النمط من التفكير، لا يصمد أمام الأدلة المتواترة على أن للاستخدام المتزايد للوقود الأحفوري، والتوسع في الإنتاج الصناعي، والإستخدام المتزايد للسيارات أثراً مدمراً على الجو، و الهواء، و البيئة. في هذا الفصل، نتفحص أنواع ومصادر ملوثات الهواء ذات الصلة بهذه المخاوف. وفي الفصل الثاني عشر، نتفحص كيفية انتشار هذه الملوثات عبر الغلاف الجوي.

ملوثات الهواء الرئيسية
Major Air Pollutants

أكثر الملوثات ذات المنشأ البشري شيوعاً وانتشاراً التي يتم انبعاثها هي ثاني أوكسيد الكبريت (SO_2)، وأكاسيد النتروجين (NO_X)، وأول أوكسيد الكربون (CO)، و ثاني أوكسيد الكربون (CO_2) المركبات العضوية المتطايرة (الهيدروكربونات)، و المواد الحبيبية، و الرصاص، و العدد من المواد الكيميائية السامة. يسرد الجدول 1.11 بعض ملوثات الهواء الهامة و مصادرها.

المعايير الوطنية لجودة الهواء المحيط
National Ambient Air-Quality Standards

في الولايات المتحدة الأمريكية، تنظم وكالة حماية البيئة (EPA) جودة الهواء بأستخدام قانون الهواء النظيف و تعديلاته التي أوكلت إلى الحكومة الفيدرالية مهمة تطوير معايير متجانسة لجودة الهواء النظيف. تشمل هذه المتطلبات المزدوجة للمعايير معاييراً أولية (تغطي ملوثات معينة) صممت لتحمي الصحة، و معاييراً ثانوية لحماية الرفاهية العامة. كان من المقرر أن يتم استيفاء المعايير الأولية بحلول يوليو من العام 1975، بينما كان من المفروض أن تستوفى المعايير الثانوية في "فترة معقولة من الزمن". مستويات

الملوثات و التي تحمي الصحة العامة تأخذ الأولوية (و تكون أكثر تشدداً) من تلك التي تحمي الصحة العامة؛ و يأخذ استيفاء معايير الصحة الأولية الأولية. أصدرت وكالة حماية البيئة في العام 1971 معايير جودة الهواء لستة أصناف من الملوثات. تلى ذلك، في العام 1978، إصدار معايير أخرى للرصاص، كما تمت مراجعة معايير المؤكسدات الكيميائية الضوئية للأوزون (تمت زيادة الحد المسموح به من الأوزون). كما تمت مراجعة معيار المواد الحبيبية و تمت تسميته بمعيار (BM-10) في العام 1987. عكست هذه المراجعة الحاجة لمعيار للجسيمات الحبيبية يعتمد على حجم الجسيمات (<10ميكروميتر) التي تمتلك المقدرة على الدخول إلى المجرى التنفسي و التأثير على صحة البشر. نلخص في الجدول 2.11 المعايير القياسية لجودة الهواء النظيف.

الجدول 1.11 مصادر التلوث

الملوث	**مصدره**
أكاسيد النتروجين و الكبريت	من احتراق الوقود الأحفوري
أول أوكسيد الكربون	بصورة أساسية من محركات العربات
المركبات العضوية المتطايره	من السيارات و من الصناعة
الأوزون	من تفاعلات الغلاف الجوي بين أكاسيد النتروجين و المركبات العضوية

إي بي أي. التطور البيئي و التحديات، 1988، ص 13

بناءً على ما سبق، تم تقسيم ملوثات الهواء إلى مجموعتين: أولية و ثانوية. يتم بعث **الملوثات الأولية** مباشرةً إلى الغلاف الجوي، حيث تؤثر هذه بصورة بالغة الضرر على صحة البشر والبيئة. كما تثير الملوثات الأولية التي يتم بعثها بكميات ضخمة مخاوف خاصة: أول أوكسيد الكربون، و ثاني أوكسيد الكربون،

وثاني أوكسيد النتروجين، والهيدروكربونات، والمواد الحبيبية. ما أن تصل هذه الملوثات الأولية إلى الغلاف الجوي، حتى تصبح قادرة على التفاعل مع الملوثات الأولية الأخرى أو مع مركبات الغلاف الجوي الأخرى مثل بخار الهواء لكي تكون **الملوثات الثانوية**. أحد الملوثات الثانوية التي لقيت إهتماماً مكثفاً من الصحافة و الإهتمام هو الترسيب الحمضي، و الذي يحدث عندما تتفاعل أكاسيد الكبريت و النتروجين مع بخار الماء في الجو.

الجدول 2.11 معايير جودة الهواء المحيط الوطنية

الملوث	متوسط الزمن	المعيار الأولي	المعيار الثانوي
أول أوكسيد الكربون	8 ساعات ساعة واحدة	10 ملغم/م^3 (9 جمم) 40 ملغم/م^3 (35 جمم)	نفس قيم المعيار الأولي
ثاني أوكسيد النتروجين	المتوسط السنوي	100 ميكروغرام/م^3 (0.05 جمم)	نفس قيم المعيار الأولي
ثاني أوكسيد الكبريت	المتوسط السنوي 24 ساعة 3 ساعات	80 ميكروغرام/م^3 (0.03 جمم) 365 ميكروغرام/م^3 (0.14 جمم) 1300 ميكروغرام/م^3 (0.5 جمم)	نفس قيم المعيار الأولي
المادة الحبيبية	المتوسط العددي السنوي 24 ساعة	50 ميكروغرام/م^3 150 ميكروغرام/م^3	50 ميكروغرام/م^3
الهايدروكربونات (صححت للميثان)	3 ساعات	160 ميكروغرام/م^3 (0.24 جمم)	نفس قيم المعيار الأولي
الأوزون	ساعة واحدة	235 ميكروغرام/م^3 (0.12 جمم)	نفس قيم المعيار الأولي
الرصاص	متوسط لفترة 3 شهور	1.5 ميكروغرام/م^3	نفس قيم المعيار الأولي

المعايير، غير تلك المبنية على المتوسط السنوي، لا ينبغي أن يتم تجاوزها أكثر من مرة واحدة في السنة.

EPA تعديلات قانون الهواء النظيف للعام 1990، 1990.

ثاني أوكسيد الكبريت (SO_2)

Sulfure Dioxide (SO_2)

يدخل الكبريت إلى الغلاف الجوي في هيئة غاز ثاني أوكسيد الكبريت (SO_2) الذي يمتلك خاصية حاتة (Corrosive). ثاني أوكسيد الكبريت غاز عديم اللون، ذو رائحة حادة نفاذه شبيهة برائحة المطاط المحترق. وعلى مستوى العالم، تنتج الطبيعة والبشر كميات متساوية تقريباً من هذا الغاز. وتشمل مصادره الطبيعية البراكين، و المواد العضوية المتحللة، ورذاذ البحر؛ بينما تشمل مصادره البشرية إحتراق الفحم والنفط الذي يحتوي على الكبريت، وصهر الخامات التي تخلو من الحديد. وبحسب معهد موارد العالم والمعهد العالمي للبيئة والتنمية (WRI & IIED 1988-)، تأتي غالبية ثاني أوكسيد الكبريت في المناطق الصناعية من المصادر البشرية بدلاً عن المصادر الطبيعية. توجد دائماً المواد المحتوية على الكبريت في الوقود الأحفوري. و لأن ثاني أوكسيد الكبريت هو ناتج إحتراق، لذلك يتحرر من هذه المواد عندما تحترق. وتنتج الكمية الأكبر من ثاني أوكسيد الكبريت عند إحراق الوقود الأحفوري لتوليد الطاقة الكهربائية. ونتيجة لذلك، دائماً ما نصادفه كمشكلة جدية بالقرب من المناطق الصناعية.

يتحول ثاني أوكسيد الكبريت في الهواء إلى ثلاثي أوكسيد الكبريت (SO_3) وإلى كبريتات (SO_4). التي من الرؤية، كما تكون حمض الكبريتيك (H_2SO_4)، و هو حامض حات جداً.

و بحسب ماكنزي و العشري (1988)، زاد المنتج العالمي من ثاني أوكسيد الكبريت ستة أضعاف منذ العام 1900. وقللت معظم الدول الصناعية من مستوياته منذ الفترة ما بين 1975-1985، بما يصل إلى 20-60% بالتحول عنه في الصناعة الثقيلة و بتطبيق معايير إنبعاث أكثر تشدداً. ولقد أتت معظم أكبر التخفيضات في كمية ثاني أوكسيد الكبريت من حرق الفحم ذي المحتوى

المنخفض من الكبريت، ومن تقليل إستخدام الفحم لإنتاج الكهرباء.

نشأت مشكلتان بيئيتان كبيرتان في المناطق التي تغلب عليها الصناعة من العالم، حيث تكون تراكيز ثاني أوكسيد الكبريت مرتفعة نسبياً: الضبخان الكبريتي، والمطر الحمضي. **الضبخان الحمضي (acidic smog)** هو سديم ينشأ في الغلاف الجوي عندما تتراكم جزيئات حمض الكبريتيك إلى أن يصل حجمها إلى حجم قطرات كبيرة بما يكفي لكي تشتت الضوء. والمشكلة الثانية، **المطر الحمضي** (acid rain)، وهي الترسيب الذي يلوث بالأحماض المذابة مثل حمض الكبريتيك. وقد شكل المطر الحمضي ويشكل خطراً على البيئة بقتله للحياة المائية في بعض البحيرات.

أكاسيد النتروجين (NO_X)

Nitrogen Oxides (NO_x)

للنتروجين سبع أكاسيد معروفة (N_2O_5، N_2O_4، N_2O_3، N_2O، NO_3، NO_2،NO)، إلا إن اثنين منها فقط هي المهمة في دراسة تلوث الهواء: أول أوكسيد النتروجين (NO)، وثاني أوكسيد النتروجين (NO_2). ينتج NO من الطبيعة أو من البشر. وتكون بكتيريا التربة مسؤولة عن إنتاج الكمية الأكبر منه في الطبيعة حيث يتم إطلاقه إلى الجو. و بداخل الغلاف الجوي، يتحد أول أوكسيد النتروجين بسهولة مع الأوكسجين لكي يكون NO_2 ، و يشار إلى هذين الأوكسيدين سويةً بالرمز NO_X (أكاسيد النتروجين). يتكون NO_X في الطبيعة بواسطة البرق و تفكك المادة العضوية. وينتج ما يقارب 50% من أكاسيد النتروجين ذات المنشأ البشري من محركات السيارات، بينما تبعث 30% من منشآت الطاقة، و تنتج العشرين في المائة المتبقية من العمليات الصناعية.

يميز العلماء بين نوعين من أنواع أكاسيد النتروجين–الحرارية و الناتجة من

الوقود–إعتماداً على طريقة تكوينها. ينتج NO_X الحراري عندما يتحد النتروجين و الاوكسجين في هواء الإحتراق (على سبيل المثال، الأوكسجين و النتروجين الموجودين في آلة الإحتراق الداخلي) نتيجة لتعريضهما لدرجة حرارة مرتفعة بما فيه الكفاية (أعلى من 1000 على مقياس كلفن). ينتج NO_X الوقود من أكسدة النتروجين (إتحاده مع أوكسجين الهواء) الموجود في الوقود، مثل الفحم. ينتج كلا نوعي NO_X أول أوكسيد النتروجين إبتداءً، وبعد ذلك، وعندما يبرد، يتحول جزء منه إلى ثاني أوكسيد الكبريت. وعلى الرغم من أن كلا نوعي NO_X مساهمان كبيران في الإنبعاثات الكلية لـ NO_X، إلا أن أكاسيد النتروجين الناتجة من الوقود هي المساهم الأكبر، ويأتي نصف هذه الأخيرة من منشآت الطاقة (المصادر الساكنة) بينما يأتي النصف الآخر من السيارات (المصادر المتحركة).

ثاني أوكسيد النتروجين أكثر سمية من NO (بأربعة أضعاف)، و هو ملوث أكبر ضرراً منه كذلك بكثير. يعتقد أن التراكيز العالية من ثاني أوكسيد النتروجين تساهم في إحداث الضرر بالقلب، و الرئة، و الكبد، والكلى. إضافة لما سبق، و لأن لثاني أوكسيد النتروجين لون بني (يضفي على الضبخان لوناً بنياً محمراً)، فإنه يحد من الرؤية. وحينما يتحد ثاني أوكسيد النتروجين مع بخار الماء في الغلاف الجوي، فإنه يكون حمض النتريك (HNO_3)، وهي مادة حاتة، تتسبب في دمار النباتات وتآكل الأسطح المعدنية، عندما تترسب في شكل مطر حمضي.

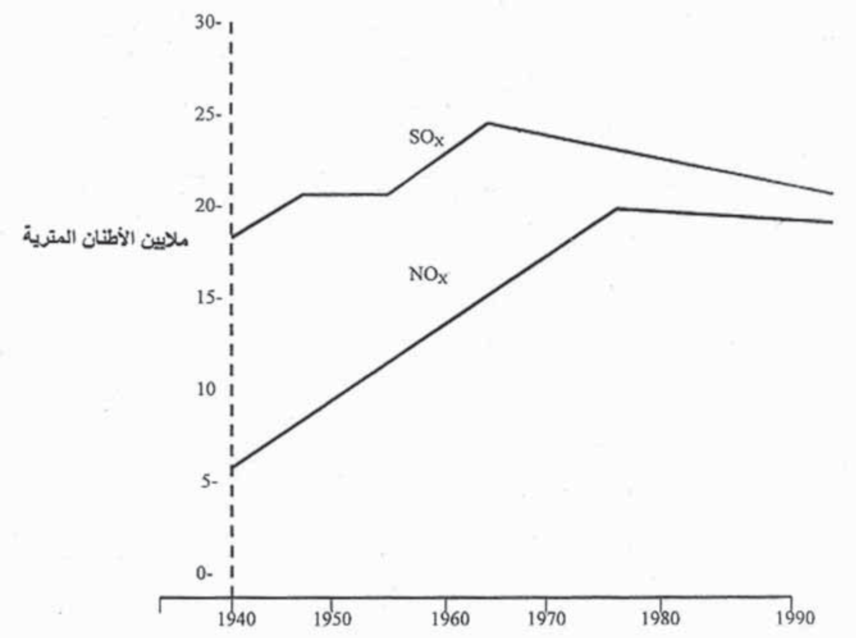
أورد معهد موارد العالم والمعهد العالمي للبيئة و التنمية (1988) أن تراكيز NO_X إرتفعت في بعض البلدان ثم ظلت ثابتة لحين من الزمن ثم بدأت في الإنخفاض أثناء سبعينيات القرن العشرين. و خلال نفس الفترة الزمنية (إنظر الشكل 1.11)، لم تتناقص تراكيز أوكسيد النتروجين بذات الدرجة الدراماتيكية التي تناقصت بها تراكيز ثاني أوكسيد الكبريت، و يرجع بذلك بصورة أساسية

لأن جزءاً كبيراً من تراكيز NO_x يأتي من ملايين السيارات، بينما يطلق الجزء الأكبر من ثاني أوكسيد الكبريت بواسطة عدد صغير نسبياً من منشآت الطاقة الحارقة للفحم و التي يتحكم في إنبعاثاتها.

أول أوكسيد الكربون (CO)
Carbon Monoxide (CO)

أول أوكسيد الكربون هو غاز عديم اللون، عديم الرائحة، ولا مذاق له، وهو، إلى درجة كبيرة، أكثر الملوثات الأولية توفراً، كما هو واضح من الجدول 3.11. يتسبب إستنشاق أول أوكسيد الكربون في الحد من مقدرة الدم على إمتصاص الأوكسجين، و في الخناق الصدري، وإعتلال الرؤية، وضعف التنسيق. لأول أوكسيد الكربون تأثير محدود على الأنظمة البيئية، إلا أن له تأثيراً غير مباشر عبر إسهامه في تأثير غاز الدفيئة ونضوب طبقة الأوزون الحامية للأرض.

أهم المصادر الطبيعية لأول أوكسيد الكربون هو إتحاد الأوكسجين مع الميثان (CH_4)، الذي ينتج من التحلل اللاهوائي للغطاء النباتي (يحدث التحلل اللاهوائي في غياب الأوكسجين). وفي الوقت ذاته، يزال أول أوكسيد الكربون من الغلاف الجوي بواسطة أنشطة الكائنات الحية الموجودة في التربة، و بذا تكون المحصلة النهائية متوسط تركيز لـ CO يقل عن 0.12–15 جزء من المليون، في النصف الشمالي للكرة الأرضية. ولأن المصادر الثابتة للإحتراق تخضع لتحكم بيئي أكثر شدة مقارنة بالمصادر المتحركة، فإن المصدر الرئيسي لأول أوكسيد الكربون من الأنشطة البشرية هو دخان عوادم السيارات، الذي يساهم بما يصل إلى 70% من كل إنبعاثات أول أوكسيد الكربون في الولايات المتحدة (إنظر الشكل 2.11).



الشكل 1.11 الإنبعاثات السنوية لأكاسيد الكبريت و لأكاسيد النتروجين في الولايات المتحدة، 1940-1987.

EPA التقديرات الوطنية لإنبعاثات ملوثات الهواء، 1989.

المركبات العضوية المتطايرة (الهيدروكربونات)

Volatile Organic Compounds (VOC$_s$ - Hydrocarbones

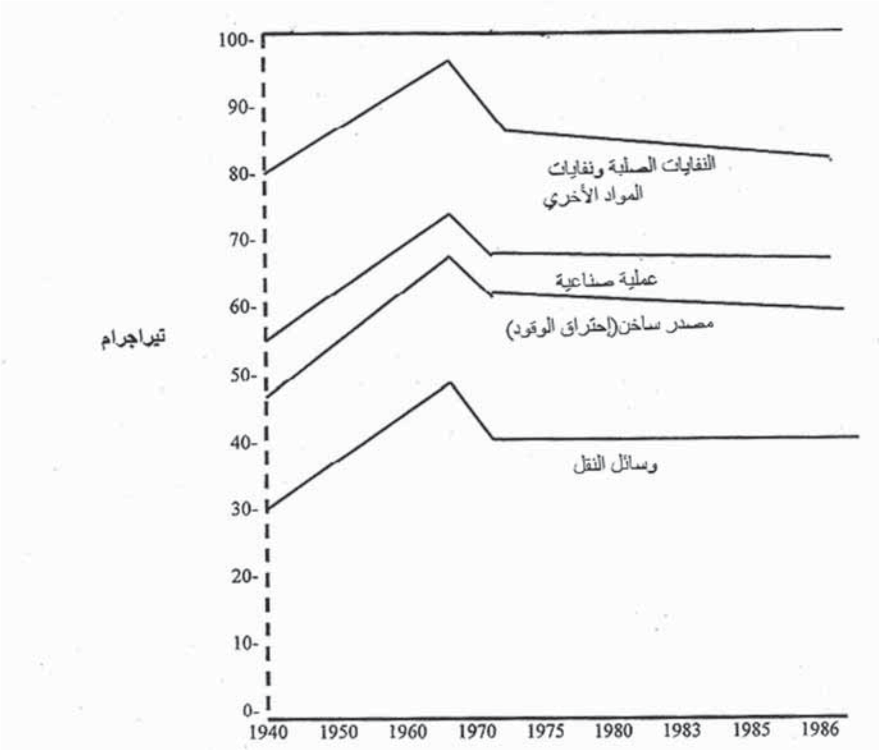
تشمل المركبات العضوية المتطايرة (والتي تتدرج تحت الإسم العام هايدروكربونات) مجموعة واسعة و متباينة من المواد الكيميائية التي تتكون بصورة كاملة من عنصري الكربون والهيدروجين. إنبعاثات الهيدروكربونات المتطايرة من المصادر البشرية تنتج بصورة أساسية من الإحتراق غير المكتمل للوقود الأحفوري. بينما تشكل الحرائق و تحلل المادة المصادر الطبيعية لأول أوكسيد الكربون. و من بين المركبات العضوية المتطايرة التي توجد بصورة طبيعية في الغلاف الجوي غاز الميثان الذي يتواجد بتراكيز تقتر من 1.5 جزء من المليون. لكن حتى في التراكيز العالية هذه، لا يتفاعل الميثان كيميائياً مع المواد الأخرى و لذلك لا يتسبب في آثار صحية ضارة. إلا أن ضوء الشمس

يتسبب في إتحاد المركبات العضوية المتطايرة مع الغازات الأخرى (ثاني أوكسيد النتروجين، وأول أوكسيد النتروجين، والأوكسجين، على سبيل المثال)، وفي الجزء الأسفل من الغلاف الجوي، تتكون ملوثات ثانوية مثل الفورمالدهيد، و الكيتون، والأوزون، ونترات البيروكسي أستيل، وأنواع أخرى من المؤكسدات الكيميائية الضوئية. يمكن لهذه المواد الكيميائية النشطة أن تتسبب في تهييج الأعين وفي الإضرار بالجهاز التنفسي، و في تدمير الغطاء النباتي كذلك.

الجدول 3.11 التقديرات الوطنية للإنبعاثات، 1986(10^{12} جم/السنة)

المصدر	SO_X	NO_X	VOC	CO	الرصاص	المواد الحبيبية
وسائل النقل	0.9	8.5	6.5	42.6	0.0035	1.4
وقود المصادر الساكنة	17.2	10.0	2.3	7.2	0.0005	1.8
العمليات الصناعية	3.1	0.6	7.9	4.5	0.0019	2.5
التخلص من الفضلات الصلبة	0.0	0.1	0.6	1.7	0.0027	0.3
مواد أخرى	0.0	0.1	2.2	5.0	0.0000	0.8
المجموع	28.4	18.1	19.5	60.9	0.0086	6.8

EPA التقديرات الوطنية لإنبعاثات ملوثات الهواء 1940-1986، 1988.



الشكل 2.11 نزعة إنبعاثات أول أوكسيد الكربون، 1940-1986
مأخوذة من EPA التقديرات الوطنية لإنبعاثات ملوثات الهواء 1940-1986، 1988.

الأوزون و الضبخان الكيميائي الضوئي
Ozone and Photochemical Smog

يمكن القول إن أكثر ملوثات الهواء ضرراً هو الأوزون (يتكون كل جزيء أوزون من ثلاث ذرات من الأوكسجين لذلك تكتب صيغته الكيميائية على النحو التالي O_3). بينما تقوم المؤكسدات الكيميائية الضوئية الأخرى (نترات البيروكسي أستيل، و بيروكسيد الهيدروجين H_2O_2، والألدهيدات) بأدوار ثانوية. و تعتبر هذه الغازات جميعها غازات ثانوية لأنها لا تنبعث، بل تتكون في الغلاف الجوي بالتفاعلات الكيميائية الضوئية للغازات المنبعثة، خصوصاً NO_X، مع ضوء الشمس.

الأوزون غاز مزرق اللون، و تبلغ كثافته 1.6 مرة كثافة الهواء، وهو فعال نسبياً كعامل مؤكسد. توجد كميات كبيرة من الأوزون في الستراتوسفير ويتكون بصورة طبيعية بسبب الأشعة فوق البنفسجية. يمثل الأوزون ملوث هواء خطير في المستوى الأرضي؛ و قد تسبب في مشكلات تلوث الهواء على امتداد العالم الصناعي، مشكلاً بذلك خطراً على الصحة العامة، و مدمراً للغطاء النباتي و مواد البناء.

ما هو مدى خطورة مشكلة التلوث بالأوزون؟ بحسب ماكنزي و العشري (1988)، وصلت مستويات الأوزون في البلدان الصناعية في أمريكا الشمالية وأوروبا قيماً تزيد بثلاث مرات عن المستويات الكافية لبدء إحداث الضرر بالغطاء النباتي و المحاصيل. يدمر الأوزون الغطاء النباتي عن طريق تدمير أنسجة النباتات، وتثبيط التمثيل الضوئي، و زيادة قابليتها للإصابة بالأمراض، و للجفاف، و لملوثات الهواء الأخرى.

ينتج الأوزون الحيوي (الجيد) في الطبقة العليا من الغلاف الجوي. إلا أنه في الوقت ذاته، زادت إنبعاثات الغازات ذات المنشأ البشري ، على الأرض، والتي تؤدي إلى إضعاف طبقة الأوزون. ومع هذه الزيادة، زادت المخاوف من خطر الإخلال بالإتزان الديناميكي لتفاعلات الأوزون في الغلاف الجوي، وما يترتب عليه من تقليل لتركيز الأوزون، الشيء الذي يتسبب في وضع خطير لأن أوزون الغلاف الجوي يمتص الغالبية العظمى من الأشعة فوق البنفسجية الشمسية الواردة إلى الأرض. لذلك، يعمل الأوزون، كدرع واقية لحماية الكائنات الحية من الآثار الضارة للإشعاع ذي الطاقة العالية. وإذا لم يحدث حجب للأشعة فوق البنفسجية هذه، فإنها قد تتسبب في ضرر جدي، مثل الإخلال بالمادة الجينية، الشيء الذي يمكن أن يؤدي لزيادة معدلات سرطانات الجلد و المشاكل الوراثية.

في منتصف ثمانينات القرن العشرين، بدأت مشكلة نضوب الأوزون في طبقات

الجو العليا في الظهور للعيان. تمت ملاحظة وجود نقص في تركيز أوزون الغلاف الجوي (ثقوب الأوزون) أثناء وقت الربيع في الإرتفاعات العالية، وبالأخص قرب القطب الجنوبي في الفترة بين سبتمبر و نوفمبر. شك العلماء بشدة في أن ذرات الكلور أو مركبات الكلور البسيطة قد تلعب دوراً في مشكلة نضوب الأوزون (إنظر الفصل 13).

في حالات نادرة، يدخل أوزون الطبقة العليا من الغلاف الجوي (الأوزون الجيد) إلى الطبقة السفلى من الغلاف الجوي (التروبوسفير). تحدث هذه الظاهرة عادة في حالة حدوث إضطراب عظيم في الطبقة العليا من الغلاف الجوي. في حالات التداخل النادرة هذه، يصل أوزون الغلاف الجوي للمستوى الأرضي لفترة قصيرة من الزمن. يتكون معظم الأوزون الموجود في التروبوسفير ويستهلك بواسطة التفاعلات الكيميائية الضوئية الذاتية، التي تحدث نتيجة للتفاعلات بين الهايدروكربونات، وأكاسيد النتروجين، وضوء الشمس، الشيء الذي ينتج ضبخاناً مثل ذلك النوع الموجود في لوس أنجلوس.

بالرغم من أن تداخلات الستراتوسفير مع التروبوسفير يمكن أن تتسبب في تكوين الضبخان، يتضمن تكوين الضبخان من نوع لوس–أنجلوس مجموعة معقدة من التفاعلات الكيميائية الضوئية. تحدث هذه التفاعلات بين الملوثات ذات المنشأ البشري (الهيدروكربونات وأوكسيد النتروجين) والمواد المنتجة بصورة ثانوية (نترات البيروكسي أستيل، والألدهيدات، والأوزون، وثاني أكسيد النتروجين). تظهر تراكيز هذه المواد الكيميائية نسقاً نهارياً واضحاً، يعتمد على معدلات الإنبعاث، وشدة الإشعاع الشمسي واستقرارية الجو عند أزمان مختلفة من اليوم (فريدمان 1989). أهم الملوثات الغازية التي تتسبب في تكوين ضبخان من نوع لوس أنجلوس وأنساقها النهارية موضحة في الشكل 3.11.

إذا ما نظرنا إلى الشكل 3.11 و تتبعنا الخط الزمني لوجود العديد من ملوثات الهواء في لوس أنجليس، فسوف نلاحظ أن لأوكسيد النيتروجين (الذي ينبعث

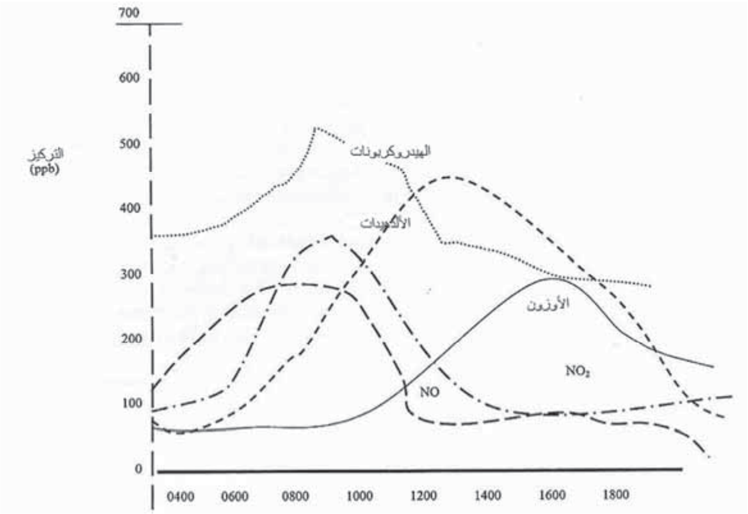
على هيئة NO_X) تركيزاً أقصى عند الفترة الزمنية ما بين الساعة السادسة والسابعة صباحاً ويعزى ذلك للسيارات المتحركة وقت الذروة الصباحية. تتبعث الهايدروكربونات الغازية من السيارات ومن المصافي، وتظهر نسقاً شبيهاً بنسق NO، مع إستثناء وحيد هو أن وقت ذروتها يتأخر قليلاً عن وقت ذروة أوكسيد النتروجين. تتم أكسدة NO تحت ضوء الشمس الساطع بصورة كيميائية ضوئية إلى NO_2، و ينتج عن ذلك نقص في تركيز NO و زيادة قصوى في تركيز NO_2 في الفترة الزمنية بين الساعة السابعة والتاسعة صباحاً. وتنتج التفاعلات الكيميائية الضوئية التي تتضمن NO_2 ذرات أوكسجين، تتفاعل مع O_2 لتنتج O_3. ينتج مما سبق نقص تركيز NO_2 وزيادة تركيز O_3 الذي يصل إلى قيمته القصوى في الفترة الزمنية بين الساعة 1200 و 1500. تصل الألدهيدات (التي تتكون هي الأخرى بسبب التفاعلات الكيميائية الضوئية) إلى تركيزها الأقصى في وقت أبكر من وقت ذروة الأوزون. ومع مرور اليوم، تتناقص تراكيز الغازات بسبب تخفيفها بواسطة الكتل الهوائية الحديثة التكوين، أو بسبب إستهلاكها في التفاعلات الكيميائية الضوئية. تميز هذه الدورة المناطق التي تتعرض للضبخان الكيميائي الضوئي كما تتكرر بصورة يومية (يورون 1976).

كمية الأوزون الموجودة في طبقة التروبوسفير في النصف الشمالي من الكرة الأرضية موضحة في الشكل 4.11. يعكس المدى الواسع من التقديرات درجة عدم اليقين في حسابات كميات الأوزون. في المتوسط، تمثل التداخلات في الستراتوسفير حوالي 18% من فيض الأوزون الموجود في طبقة التروبوسفير، بينما يمثل الأوزون المنتج من التفاعلات الكيميائية الضوئية الـ 82 % المتبقية. يتم إستهلاك 31% من الأوزون في التروبوسفير بواسطة تفاعلات الأكسدة في الغطاء النباتي عند المستوى الأرضي، بينما تستهلك 61%

المتبقية منه بواسطة التفاعلات الكيميائية الضوئية التي تحدث في الغلاف الجوي (فريدمان 1989).

ثاني أوكسيد الكربون
Carbon dioxide (CO_2)

يطلق الوقود المحمل بالكربون، عندما يحترق، ثاني أوكسيد الكربون (CO_2) إلى الغلاف الجوي. وعلى الرغم من أن معظم ثاني أوكسيد الكربون يتم تبديده، ومن ثم إعادة إمتصاصه بواسطة مياه المحيط، ويأخذ الغطاء النباتي بعضه عبر التمثيل الضوئي، إلا أن بعضه الآخر يبقى في الغلاف الجوي. و اليوم يصل تركيز ثاني أوكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلى 350 جزءاً من المليون، وهذا التركيز يرتفع بمعدل 20 جزءاً من المليون في كل عقد. والمسؤول الأساسي عن هذا الإرتفاع هو إرتفاع معدل إحتراق الفحم و النفط، والذي قد يكون له في نهاية المطاف تأثير على المناخ العالمي (إنظر الفصل 13).



الشكل 3.11 متوسط التركيز لعدد من ملوثات الهواء في جو لوس أنجليس خلال الأيام التي يحدث فيها تهييج للعين.

مأخوذة من أي، جي. هاغان-سميث، و إل، جي. واين" التفاعلات الجوية و عمليات جمع الفضلات".1976.

الجدول4.11 كمية (موازنة) الأوزون في التروبوسوفير (النصف الشمالي من الكرة الأرضية) (كج/نصف عام)

النقل من الستراتوسفير	13–20
الإنتاج الكيميائي الضوئي	48–78
التدمير عند المستوي الأرضي	18–35
التدمير الكيميائي الضوئي	48–55

أو، هوف "الأوزون في التروبوسفير: التلوث من المستوى العالي" 1984

دراسة حالة Case Study 1.11

المعركة تستعر عند متنزه يلوستون الوطني...حول الزلاجات الآلية

A Battle is Raging over Yellowstone National Park… Over Snowmobiling

عندما اقتربت إدارة كلينتون من نهايتها، وضعت برنامجاً من ثلاث سنين لإنهاء إستخدام الزلاجات الآلية في متنزه يلوستون الوطني بصورة تدريجية موضع التنفيذ. ولأن الأبحاث المكثفة دلت على أن أي مستوى من استخدام الزلاجات الآلية يؤثر بصورة سالبة على وظيفة المتنزه الأساسية و هي حماية الحياة البرية والمساكن الطبيعية، فقد قادت المجموعات البيئية إجراءات قانونية أجبرت خدمة المتنزه الوطنية على وقف تجاهل قوانين المحافظة الأساسية.

وبعد تولي الرئيس الأمريكي بوش منصبه أوقف العمل بهذا الحظر؛ إذ جادل القادة الجدد لوزارة الداخلية بأن استخدام طرق و مقاربات إدارية جديدة يمكن أن يسمح باستخدام الزلاجات الآلية في المتنزه من غير إضرار ببيئتها. إلا أن خطة بوش هذه والتي أعلنت في أكتوبر من العام 2003، كان من الممكن أن تزيد من معدل استخدام الزلاجات الآلية في المتنزه. فقد اعتمدت أساساً على

إمكانية تعديل القوانين المنظمة للتحكم في مقدار تلوث الهواء وارتفاع مستوى الضوضاء الذي يتخطى قدرة العناصر الطبيعية في المتنزه أن تتحمله بدلاً من إجراء عملية تقييم منهجية وعملية لهذا التلوث.

في ديسمبر 2003، الغى قاضي المحكمة الفيدرالية إميت سوليفان (Emmet Sullivan) خطة وزارة الداخلية. ساندت منظمة الجمهوريين من أجل حماية البيئة (REP) قرار القاضي سوليفان بشدة" فما من شيئ آخر يفوق هذا الأمر أولويةً، لا الطلبات التي لا تكل من أجل توسيع مدى الترفيه باستخدام الزلاجات الآلية إلى أبعد مدى في البراري غير الملطخة، و لا الضغوط التي لا تنتهي من أجل تسليع المرافق العامة في أمريكا، ولا حسابات السياسة" كما قال جيم ديبسو (Jim Dipeso)، مدير السياسات في منظمة الجمهوريين من أجل حماية البيئة. "القانون، والرأي العام، والتزامنا بأن نكون حراساً أمينين لتراث أمريكا هي أمور واضحة، وعجائب المتنزهات الوطنية التي لا تضاهى ينبغي الحفاظ عليها، من دون أن تتعرض لأذى أجيال المستقبل"

إلا أنه بعد مرور فترة قصيرة على قرار القاضي سوليفان، وقبل شهر تقريباً من نهاية الموسم، وجد قاضٍ فيدرالي في وايومنج، يحكم في قضية موازية، أن إعادة تنفيذ قواعد كلينتون من شأنه الإضرار بصورة غير قابلة للإنعكاس بالمجتمعات التي تقع بالقرب من متنزه يلوستون، وأمر خدمة المتنزهات بأن تفترع خطة جديدة. قامت خدمة المتنزهات بإجراء تعديلات طفيفة على خطة بوش و أعادت إصدارها من جديد مباشرةً.

ما زال إستخدام الزلاجات الآلية في حكم المجهول (in limbo)؛ والمعركة لم تحسم بعد.

المراجع References

مينيابولس ستار تريبيون، 7 مارس، 2004: يلوستون: زحافات الجليد الآلية. موجودة في:

News.greateryellowstone.org/article.php?article_id=33

القرار بخصوص يلوستون: نفحة من الهواء النقي: ديسمبر 18، 2003

www.repamerica.org/opinions/pressrelease/release12-18-03.html

المواد الحبيبية
Particulate Matter

تعرف المواد الحبيبية الجوية بأن أيَّ مادة منتشرة، صلبة كانت أو سائلة، تكون فيها التجمعات المنفردة أكبر من الجزيئات الصغيرة المنفردة، الا أن حجمها يقل عن 500 ميكروميتر. المادة الحبيبية مادة شديدة التنوع، إذ أن هذه المادة تختلف بإختلاف الحجم و التركيب الكيميائي، والتراكيز الجوية (ماسترز 1991). تستخدم عدداً من المصطلحات من أجل تصنيف الأجسام الحبيبية، إعتماداً على أحجامها وطورها (السائل والصلب). يسرد الجدول 5.11 هذه المصطلحات.

الجدول 5.11. المواد الحبيبية في الجو

المصطلح	الوصف
الهباء الجوي (Aerosal)	مصطلح يستخدم لوصف الجسيمات المعلقة في الهواء
الرذاذ (Mist)	هباء جوي يتكون من قطرات سائلة
الغبار (Dust)	هباء جوي يتكون من جسيمات صلبة تنفخ إلى الهواء أو تنتج من طحن الجسيمات الكبيرة
الدخان (Smoke)	هباء جوي يتكون من جسيمات صلبة أو من خليط من الجسيمات السائلة أو الصلبة التي تنتجها التفاعلات الكيميائية مثل الحرائق
الأبخرة	يقصد به في العادة الدخان، الا أنه يستخدم بصورة خاصة

(Fume)	للهباء الذي يتكون بواسطة تكثيف الأبخرة الساخنة، خصوصاً تلك الناتجة من المعادن
سحب الدخان (Plume)	الأشكال الهندسية للدخان الخارج من المداخن
الضباب (Fog)	الهباء الجوي الذي يتكون من قطرات الماء
السديم (Haze)	أي هباء، غير الضباب، الذي يعيق الرؤية في الجو
الضبخان (Smog)	مصطلح شائع ذو أصل إنجليزي لوصف خليط الدخان و الضباب؛ و يعني ضمناً وجود تلوث كيميائي ضوئي

يعد الغبار، ورذاذ البحر، وحرائق الغابات، وحرق أنواع معينة من الوقود من مصادر المواد الحبيبية في الجو. وبالرغم من تطبيق معايير تحكم في الإنبعاثات الأكثر تشدداً عمل على تخفيض المواد الحبيبية في الغلاف الجوي، الا أن مكتب الولايات المتحدة لتقييم التقنية (بوستل 1987) يقدر أن المستويات الحالية من الجسيمات الحبيبية و من الكبريتات في الهواء المحيط قد تتسبب في وفاة 50,000 أمريكي في كل عام.

الرصاص Lead

ينبعث الرصاص إلى الغلاف الجوي، بصورة أساسية، من المصادر البشرية (حرق الجازولين المرصص، على سبيل المثال)، في هيئة حبيبات غير عضوية. يمكن للرصاص، عند تركيزات عالية، أن يضر بالصحة البشرية وبالبيئة. ما أن يدخل الرصاص إلى النظام البيئي حتى يظل هناك إلى الأبد. يمكن للرصاص، في البشر والحيوانات، أن يؤثر على الجهاز العصبي وأن يتسبب في حدوث أمراض الكلى. كما يمكن للرصاص أن يثبط من عمليات

التنفس و التخليق الضوئي في النباتات، ويمنع تفكك الكائنات الحية. منذ سبعينات القرن العشرين، تسببت معايير الإنبعاث الأكثر تشدداً في حدوث نقص بصورة دراماتيكية للرصاص المنتج.

دراسة الحالة Case Study 2.11

خذ نفساً عميقاً...و أحبسه

Take a Deep Breath… and Hold It

لمنظمة "جمهوريون من أجل الحفاظ على البيئة" في أمريكا، و هي المنظمة القاعدية للمنتمين للحزب الجمهوري العاملين على الحفاظ على البيئة وجهة نظر قوية حول القرار الذي اتخذته وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة في أغسطس من العام 2003 بتخفيف متطلبات التحكم في التلوث لمنشآت الطاقة القديمة والمرافق الصناعية. تستفيد هذه القاعدة الجديدة من ثغرة قانونية موجودة للتعامل مع "الصيانة الروتينية" لحوالي 17,000 من المنشآت الصناعية العتيقة.

" يسمح تغيير القاعدة القانونية لهذه للمنشآت القديمة القذرة بأن تستمر في إستخدام رئات البشر كسلال قمامة مجانية. إضافةً، إلى هذا يتسبب هذا التغير في جعل السوق متحيزاً عن طريق إعطاء معاملة تفضيلية للمنشآت القديمة القذرة، الشيء الذي يضع للمنشآت الأكثر نظافةً في جانب الطرف المتضرر. ينبغي للإدارة أن تسوي الملعب، وأن تنفذ القانون، وأن توقف إحتضان الشركات غير المسؤولة التي يتسبب تلوثها في المرض، و الموت، والدمار البيئي" بحسب جيم ديبسو، مدير السياسات في "منظمة الجمهوريين من أجل حماية البيئة".

بحسب قواعد "مراجعة المصدر الجديد" لقانون الهواء النظيف، فإن كل واحدة من 17,000 من منشآت الطاقة و المرافق الصناعية يتوجب عليها أن تنصب

أدوات تحكم حديثة في التلوث فقط إذا ما تسبب تعديل المنشأة في زيادة التلوث. و إذا ما كلف التغيير أقل من 20% من القيمة الأساسية لوحدة الإنتاج، فإنه يقع في هذه الحالة تحت بند "الصيانة الروتينية"، ولا يتطلب الأمر حينئذ الإيفاء بقواعد الهواء النظيف المشددة، حتى لو تسببت التغييرات في زيادة التلوث.

"وبفضل تعريف أورويل (Orwell) للصيانة الروتينية، يمكن للمنشآت أن تمد من حيواتها إلى ما لا نهاية وأن تزيد من الإنبعاثات المضرة من دون تنصيب معدات التحكم في التلوث الحديثة. يقول ديبيو (Dipeso) لا يتوجب على المنشآت التي عفى عليها الزمن أن تنظف ما أفسدته جراء عملها، كما لا يتوجب عليها أن تطيع نفس القواعد التي تلزم بها المنشآت الأحدث، كما أنها تلقي بتكلفة تلوث الهواء على المارة الأبرياء، بما فيهم الأطفال، و الشيوخ، و الأشخاص الذين يعانون من أمراض الجهاز التنفسي.

تدعم "منظمة الجمهوريين من أجل حماية البيئة" في أمريكا قانون الهواء النظيف، و التشريعات التي تطلب من كل المنشآت العتيقة أن تمتثل لمتطلبات التحكم في الهواء النظيف بحدود تاريخ معين.

" سوف تضمن التشريعات الجديدة التي تتطلب تنظيف المنشآت الجديدة بمرور تاريخ معين و التي تضع أسقفاً صارمة لانبعاثات ثاني أوكسيد الكبريت، وأكاسيد النتروجين، والزئبق، وثاني أوكسيد الكبريت من منشآت الطاقة حصولنا على هواء أنظف، وعلى تخفيض إنبعاثات غاز الدفيئة، و على الحصول على تنظيف بتكلفة فعالة، و على الحصول على يقين بالقوانين المنظمة. و في الوقت الحالي، ينبغي أن يُفرض قانون الهواء النظيف بلا هوادة" كما يقول ديبيسو.

References المراجع

www.repamerica.org/opinions/pressreleases/release8-27-03.htm

خلاصة الفصل

Chapter Summary

يدفع أولئك الذين يعيشون في المناطق المتطورة من العالم، والمناطق ذات الكثافة السكانية العالية، والدول الصناعية ثمن رفاهيتهم و مستوى معيشتهم العالي بعدة طرق. على المستوى الشخصي، تسمح مجموعات الأسر التي تتمتع بمصدرين للدخل لأفرادها بشراء ما يريدون بينما يعاني الآخرون من آثار التوتر والعمل الزائد- وعلى مستوى القطر، نشجع زيادة النمو، ونلوح بأيدينا ونحن نذرف الدموع بينما تغير الصناعة من مصادرنا الأساسية بطرق مؤذية. تتطور الصناعة وتنمو، كما يتطور علم البيئة ويتقدم، وينظف من الأوساخ التي تنتجها الصناعة، كما تصدر الإنذارات بصورة ثابتة وبصورة متسقة بخصوص ما يحدث لأرضنا إذا لم نفكر في ما سوف نفعله قبل أن نقوم به. بعض المشاكل التي سوف تواجهنا في المستقبل سوف تحدث في المرحلة الحرجة التي تسبق وصول أطفالنا سن الرشد. و تتسبب الملوثات الهوائية في عدد من هذه المشاكل. وسوف يتوجب علينا أن ندفع من أجل حلها.

يتطلب حل مشكلة تلوث الهواء أن نتحرك بحيث نتجاوز الحلول المؤقته، ومقاربات آخر الأنبوب (التعامل مع المشاكل بعد أن نحدث) لكي نواجه مشكلة التلوث من جزورها. و يعني هذا، إعادة توجيه الطاقة، و النقل، و البنيات الصناعية بحيث توجه ناحية الوقاية.

-هيلاري إف. فرنش

أسئلة المناقشة و مشكلات

Discussion Questions and Problems

1. متى يمكن أن نتوقع أن تصل مستويات أول أوكسيد الكربون والهيدروكربونات في المناطق الحضرية.
2. صف الفروق بين الدخان، والأبخرة، والغبار، والسحابات البخارية.
3. ماهي نترات البيروكسي أستيل؟ وكيف تنتج؟
4. ما هو مصدر أهمية NO_2 كملوث للهواء؟
5. لماذا ترتفع مستويات تلوث الهواء بشدة في منطقة لوس أنجليس؟
6. ميّز بين ملوثات الهواء الأولية و الثانوية وإعطي مثالاً لكل.
7. ما هو الضبخان الكيميائي الضوئي؟ وما هي مسبباته؟
8. أذكر خمسة من الملوثات الشائعة التي تطلق في الغلاف الجوي و مصادرها.
9. ما هي العوامل التي تساهم في تدمير طبقة الأوزون في الستراتوسفير؟ وما هي آثار هذا التدمير؟
10. ما هي أهم المخاوف الحالية باعتقادك في ما يخص تلوث الهواء؟ إشرح.

مواضيع أبحاث مقترحة و مشاريع

Suggested Research Topics and Projects

- تفحص النتائج الحالية و التغيرات في جريان المياه في أعماق المحيط؛ إنبعاثات غازات الدفيئة؛ زيادات التغير في درجات الحراره؛ إرتفاع مستوى البحر، ثباتية حركة المحيط.

- تفحص الثورة الصناعية في ضوء الدمار البيئي.
- ألقِ نظرة على المعايير الأولية و الثانوية لقانون الهواء النظيف لوكالة حماية البيئة وما تعنيه بالنسبة للبيئة.
- تفحص دورة ثاني أوكسيد الكبريت في تكوين الضبخان الكبريتي و الترسيب الحمضي.
- تفحص دور إنبعاثات السيارات في تكوين أكاسيد النتروجين.
- صف إستجابة وسائل الأعلام لمصادر الهيدروكربونات.
- تفحص كيفية تفاعل المركبات العضوية المتطايرة مع ضوء الشمس.
- أجرِ بحثاً عن النتائج الحالية للعلاقة بين الأوزون والكلور.
- ألقِ نظرة على أنماط تلوث الهواء في ضوء أنماط عمل المجتمع و الإطارات الزمنية للتفاعلات الكيميائية.
- تفحص مفهوم كمية (ميزانية) الأوزون في التروبوسفير.
- ألقِ نظرة على الزيادة في ثاني أوكسيد الكربون من احتراق الفحم و النفط.
- إشرح كيفية تأثير المواد الحبيبية على المشاكل الصحية. من المتأثر، و بم يتأثر، وكيف يتأثر؟
- أجرِ بحثاً عن استخدام صناعة السيارات للرصاص كمادة مضافة للوقود.

المراجع المثبتة
Cited References

EPA. *The CAA Amendments of 1990*. Washington, D.C.: EPA, 1990.

———. *Environmental Progress & Challenges*. Washington, D.C.: EPA, 1988.

———. *National Air Pollution Emission Estimates*. Washington, D.C.: EPA, 1989.

———. *National Air Pollution Emission Estimates 1940–1986*. Washington, D.C.: EPA, 1988.

Freedman, B. *Environmental Ecology*. New York: Academic, 1989.

Haagen-Smit, A. J., and L. G. Wayne. "Atmospheric Reactions and Scavenging Processes." In *Air Pollution*. 3rd ed. Vol. 1, ed. A. C. Stern. New York: Academic, 1976.

Hov, O. "Ozone in the Troposphere: High Level Pollution." *Ambio* 13 (1984): 73–79.

MacKenzie, J. J., and T. El-Ashry. *Ill Winds: Airborne Pollutant's Toll on Trees and Crops*. Washington, D.C.: World Resource Institute, 1988.

Manabe, B., and R. Stouffer. "Century-Scale Effects of Increased Atmospheric CO_2 on the Ocean-Atmosphere System." *Nature* 364, no. 6434 (1993): 215–18.

Masters, G. M. *Environmental Engineering*. New York: Prentice Hall, 1991.

Postel, S. "Stabilizing Chemical Cycles." In *State of the World*, ed. Lester R. Brown. New York: Norton, 1987.

Urone, P. "The Primary Air Pollutants—Gaseous. Their Occurrence, Sources, and Effects." In *Air Pollution*. Vol. 1, ed. A. C. Stern. New York: Academic, 1976.

World Resources Institute and IIED. *World Resources 1988-89*. New York: Basic Books Inc., 1988.

المراجع المقترحة
Suggested References

Bridgman, H. A. *Global Air Pollution*. New York: Wiley, 1994.

Brownell, F. W., and L. B. Zeugin. *Clean Air Handbook*. Rockville, Md.: Government Institutes, 1998.

Colls, J. *Air Pollution*. London: Chapman & Hall, 1997.

Cooper, C. D., and F. C. Alley. *Air Pollution Control: A Design Approach*. Boston: PWS, 1986.

Dutsch, H. V. "Ozone Research—Past-Present-Future." *Bulletin of the American Meteorological Society* 62 (1981): 213–17.

Elsom, D. M. *Atmospheric Pollution—A Global Problem*. 2nd ed. Oxford: Blackwell, 1992.

Flagan, R. C., and J. H. Seinfeld. *Fundamentals of Air Pollution Engineering*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1988.

Loiy, P. J., and J. M. Daisey. *Toxic Air Pollution*. Chelsea, Mich.: Lewis Publishing, Inc., 1987.

National Research Council. *Causes and Effects of Stratospheric Ozone Reduction: An Update*. Washington, D.C.: National Academy Press, 1982.

Postel, S. *Air Pollution, Acid Rain, and the Future of the Forests*. Washington, D.C.: Worldwatch Institute, 1984.

Revelle, R. "Carbon Dioxide and World Climate." *Scientific American* 247 (1982): 35–43.

Stern, A. C., and H. C. Wohlers. *Fundamentals of Air Pollution*. New York: Academic, 1984.

Turco, R. P. *Earth under Siege: Air Pollution and Global Change*. New York: Oxford University Press, 1996.

Waldbott, G. L. *Health Effects of Environmental Pollution*. St. Louis, Mo.: C. V. Mosby, 1978.

Wark, K., and C. F. Warner. *Air Pollution, Its Origin and Control*. New York: Harper & Row, 1981.

Warneck, P. *Chemistry of the Natural* Atmosphere. San Diego, Calif.: Academic, 1988.

Williamson, S. J. *Fundamentals of Air Pollution*. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1973.

الفصل الثاني عشر

انتشار الهواء الجوي

Atmospheric Air Dispersion

أشباح الغرب الأوسط

Ghosts of the Midwest

تأتي الرياح من جهة الغرب، متثاقلة ومليئة بالضباب حينما يكون المحيط الهادي ساكناً، ويتحرك الهواء في الارتفاعات العالية بثبات، متجهاً نحو الشرق بلا هوادة، و يتناطح التيار السفلي مع الجروف البحرية، مندفعاً ببطء فوق كهوف المحار.

تكون كتلة الهواء، نهاراً، حساءاً أبيض شاحباً من الكبريتيدات والهيدروكربونات، تندمج معه الخيوط ذات اللون البني، عند مروره فوق المدن.

عند شروق الشمس، فوق مدن مثل لوس أنجلوس، يتلون الهواء بلون بنفسجي متألق ويشق طريقه شرقاً فوق صحاري نيفادا وأريزونا، منتهياً به الأمر كسديم فوق الوادي العظيم... قبل أن ينساب عبر المعابر الجبلية أو يأخذ طريقه للإضطراب الموجود في الأعلى. هناك تنعكس الرياح في إتجاهها، أو تغطس إلى الأسفل مثل تيار تحتي.إلا أنه بحلول هذا الوقت يكون معظم الهواء قد وصل إلى إرتفاع عالٍ جداً يِمكنِّه من أن يلقي نظرة على الأرض الراقدة تحته، والبحار، والمزارع المتلاصقه، وأحجار منجم قديم مطحونة، و مصانع مبيدات الأعشاب المتناثره. فالهواء يؤشر ناحية الشرق والشمال– مثل دوارة الريح.

ما من أحد يعرف يقيناً ما الذي تحتويه الريح الآتية من كاليفورنيا، أو التيارات القادمة من أوريغون وواشنطون، أو القادمة من نيومكسيكو أو كولارادو.

وبينما تنزع الرياح إلى أن تتجه شرقاً، فبمقدورها أن تتحرك في كل إتجاه. وفي الأراضي الوسطى، لا تأتي الرياح فقط من جهة الغرب، بل تأتي كذلك من ناحية ولايات الخليج. وتختلط الكتل الهوائية الغربية والجنوبية لتلتقط تشكلات

الغرب الأوسط ثم تواصل مسيرها ناحية الشرق.

ولذلك، فإن الجزء الأوسط من أمريكا، الذي كان ينظر اليه بإعتباره منطقة بكراً، هو في الحقيقة وعاء ضخم يتقبل بقايا ما يعطيه إياه الغرب والجنوب، مازجاً إياها لكي يتحصل على طبخة فريدة، يفيض حساؤها السديمي.

وعلى الرغم من أن الرياح تختلف بإختلاف إرتفاعها، وبحسب درجة الحرارة، والأرض التي تنساب فوقها، إلا أنها تمتد على إمتداد كل أراضي الولايات المتحدة.

–براون 1987، 3–4

أغراض الفصل

Chapter Objectives

بعد دراسة هذا الفصل ينبغي أن تكون قادراً على أن:

- تصف وتُناقش الكيفية التي يؤثر بها الطقس على مستويات التلوث بصورة ميكانيكية أو كيميائية.
- تُعرِّف، وتصف و تُناقش كيف يؤثر صنف الإضطراب ونوع ثباتية حركة الهواء على حالة الجو.
- تُعرِّف، وتصف معدل الإنقضاء الأدياباتيكي وكيف يؤثر على الثباتية.
- تصف سبب أهمية إمتزاج الهواء، وتصف كيفية عمله.
- تصف كيفية تأثير ثلاثة مظاهر طوبوغرافية تؤثر على حركة الريح، وتُناقش كيفية إنتقال الآثار.
- تصف نوعين من أنواع الإنقلاب الحراري، وتشرح آثارها على تراكيز المادة الملوثة في المستوي الأرضي.
- تتُعرَّف على سبعة أنواع من تصرفات إرتفاع السحابات الدخانية، وأن تصف المعلومات المرتبطة بها، وتُناقش كيفية تأثير إرتفاع السحابات

الدخانية على انتشار الملوث من مستوى المدخنة الواحدة إلى مستوى مدينة بأكملها.

- تُعرِّف وتُناقش آثار الإنتقال على تلوث الهواء.
- تُعرِّف نمذجة الانتشار، وتصف الغرض منها.

مخطط الفصل Chapter Outline

- تَعريف ومناقشة: ملوثات الهواء، ومصادرها، وانتشارها، والعمليات ذات الصلة بها.
- مناقشة: كيفية تأثير ظروف ونماط الطقس على الملوثات في الجو، وعلى أنماطها، وعلى الظروف المحلية.
- مناقشة وتَعريف: كيف تؤثر المستويات المختلفة من الإضطراب على الظروف المحلية، وعلى مستويات التلوث.
- مناقشة وتَعريف: كيفية تأثير الإرتفاع على درجة حرارة الهواء وعلى حركته.
- مناقشة: كيفية تأثير حركة الهواء الأفقية على الانتشار.
- مناقشة: كيفية تأثير الطبوغرافيا على ظروف الطقس المحلية وعلى حركة الهواء.
- تَعريف ومناقشة: الإنقلاب الإشعاعي، والإنقلاب الإنخسافي، وكيفية عملهما، وتأثيرهما على الظروف المحلية.
- تَعريف ومناقشة: سلوك سحابات الدخان تحت أنساق حركة الهواء المحددة، على مستوى المدخنة، وعلى مستوى المدينة.

• مناقشة: الكيفية التي ينتقل بها ملوث هواء منفرد لمسافات طويلة، عبر عمليات النقل.

• مناقشة: نمذجة انتشار الهواء.

المصطلحات الرئيسية Key Terms

stable atmosphere	جو مستقر	adiabatic	أدياباتيكي
stability	ثبات	adiabatic lapse rate	معدل إنقضاء أدياباتيكي
stability class	صنف الإستقرار	anticyclones	مضادات الزوابع
subadiabatic	تحت أدياباتيكي	dry adiabatic lapse rate	معدل الإنقضاء الأدياباتيكي الجاف
subsidence inversion	إنقلاب إنخسافي	fumigation	تصغير
supradiabatic	فوق أدياباتيكي	lapse rate	معدل الإنقضاء
temperature inversion	إنقلاب درجة الحرارة	neutrally stable atmosphere	جو مستقر بالتعادل
turbulance	إضطراب	normal lapse rate	معدل الإنقضاء العادي
unstable atmosphere	جو غير مستقر	plume	سحابة دخانية
valley winds	رياح الوادي	radiative inversions	إنقلابات إشعاعية
		slope wind	رياح المنحدر

مقدمة Introduction

يتم إطلاق الملوثات الهوائية التي تمت مناقشتها في الفصل الحادي عشر، من المصادر الثابتة والمتحركة. كما جمع العلماء معلومات كثيرة جداً عن مصادر، وكميات، ومستويات سميّة هذه الملوثات. قياس تلوث الهواء مهارة علمية مهمة، وممارسو هذه المهارات لهم في العادة معرفة واسعة بالعلوم ذات الصلة ومناحي النمذجة ذات الصلة بدراستهم و بتحليلهم لملوثات الهواء في الجو المحيط. ومع ذلك، للوصول إلى لب مشكلة تلوث الهواء، لا بد لممارس علم تلوث الهواء أن يكون قادراً على تحديد مصادر هذه الملوثات، وعمليات انتشارها في الجو، وتأثيرها على المصادر الجديدة، وفوائد التحكم بها.

يتحتم على ممارسي التحكم في تلوث الهواء أن يتعاملوا مع حقيقة واحدة– هي أنه نادراً ما تمكث ملوثات الهواء في الأماكن التي تنطلق منها. بدلاً من ذلك، تعمل ظروف إنسياب الرياح الجوية والإضطراب، والملامح الطوبوغرافية المحلية، والظروف الفيزيائية الأخرى، على **تشتيت** (dispersion) هذه الملوثات. لذلك، بجانب المعرفة الشاملة وفهم الملوثات محل السؤال، يحتاج ممارس التحكم في تلوث البيئة لمعرفة قاطعة بالعمليات الجوية التي تتحكم في تشتتها اللاحق وفي مصيرها. إلى هذه النقطة، ناقشنا الرياح وتكونها (الفصل العاشر)، وهي عناصر مهمة في انتشار ملوثات الهواء. في هذا الفصل، نناقش تشتت ملوثات الهواء بمزيد من التفصيل، كما نناقش التشتت **الجوي** للملوثات الهوائية والعوامل المرتبطة بهذه الظاهرة، بما في ذلك نمذجة التشتت، بصورة إضافية.

الجو وعلم الأرصاد
Atmosphere and Meteorology

ناقشنا في الفصل العاشر أساسيات علم الأرصاد، الشيء الذي يهيئ الخلفية المناسبة لتقديم شامل لتلوث الهواء (الفصل العاشر إلى الرابع العاشر). في هذا

القسم، نبني على المعلومات التي سلف ذكرها، و نوسع منها لكي نؤكد على الارتباط الطبيعي بين جونا، و تلوث الهواء، وعلم الأرصاد.

الطقس Weather

الهواء المُحتوى في جو الأرض ليس بساكن. ترتفع الكتل الهوائية، دائمة الحركة، التي يدفئها الإشعاع الشمسي عند خط الإستواء و تنتشر بإتجاه الأقطاب الأبرد، حيث تغوص منسابة إلى الأسفل، راجعةً في نهاية المطاف إلى خط الإستواء. تنمو أنماط الرياح الرئيسية بالقرب من سطح الأرض نتيجة لدوران الأرض.

تسخن الأرض بمعدل أسرع مقارنةً باليابسة نهاراً؛ بينما تبرد اليابسة بصورة أسرع ليلاً. يتحكم في حركة الرياح المحلية الفرق في التبريد والتسخين بين اليابسة و الأجسام المائية التي تجاورها. و في العادة، يجلب نسيم الشاطئ الهواء الأكثر برودة وكثافة من عند كتل اليابسة إلى المياه ليلاً. كما يتأثر هطول الأمطار بحركة الرياح. يحمل الهواء الدافئ المحمل بالرطوبة المتصاعد من المحيطات إلى اليابسة، حيث تبرد كتل الهواء، و تتسبب في سقوط الرطوبة على هيئة أمطار، وثلج، وجليد.

على الرغم من أن إنبعاثات الملوثات التي تظل ثابتة بصورة نسبية، فإن جودة الهواء تختلف بصورة كبيرة من يوم لآخر. والعوامل التي تحدد ذلك ذات صلة بالطقس. تؤثر ظروف الطقس بصورة بالغة على جودة الهواء وعلى تلوثه وعلى الظروف المحلية خصوصاً،، بصورة حميدة وغير حميدة. على سبيل المثال، في الأيام الساخنة المشمسة، وحينما يكون الطقس هادئاً ويحتوي ضغطاً عالياً راكداً، تتدهور جودة الهواء، لأن هذه الظروف تسمح بزيادة كمية الملوثات الموجودة في المستوى الأرضي. وحينما تتضمن ظروف الطقس المحلية طقساً بارداً، عاصفاً، به خلايا ضغط منخض وجبهات باردة، فإن ذلك

يحسن من جودة الهواء بسبب الإختلاط التصاعدي لملوثات الهواء وانتشارها.

للطقس تأثير مباشر على مستويات الملوثات بطرق ميكانيكية وكيميائية. من الناحية الميكانيكية تعمل مياه الأمطار على تنظيف الهواء من الملوثات (بنقل الملوثات إلى الأنهار أو الجداول أو البحيرات أو التربة). وتنقل الرياح الملوثات من مكان إلى آخر. عادة ما تنقص الرياح والعواصف من تراكيز الملوثات بتخفيفها بالهواء النظيف، مقللة بذلك من الأثر المزعج لهذه الملوثات على مناطق إطلاقها. ويحمل الهواء والملوثات الموجودة فيه (في منطقة ذات ضغط منخفض) إلى أعلى عن طريق الهواء المسخن بواسطة الشمس. وعندما تصاحب الريح هذه الكتلة الهوائية المتصاعدة، يُخَفِف الهواء النقي من تركيز هذه الملوثات. ويحدث العكس في مواقع الضغط المرتفع،، إذ يغوص الهواء والملوثات الموجودة به إلى أسفل. وحينما لا تهب الرياح، تحتجز هذه الملوثات ويتركز وجودها بالقرب من الأرض، الشيء الذي يؤدي إلى حدوث حالات جدية من التلوث.

من الناحية الكيميائية يمكن للطقس أن يؤثر على مستويات التلوث. إذ تخلط الرياح والاضطراب الملوثات مع بعضها البعض في شكل حساء كيميائي ضخم في الجو. إذ يمكن للطاقة الشمسية، وبخار الماء الموجود في السحب، والمواد الكيميائية شديدة التفاعل الموجودة في الجوار أن تتسبب في حدوث تفاعلات كيميائية، تقود بدورها إلى تكوين ملوثات ثانوية. والعديد من هذه الملوثات الثانوية قد يكون أخطر من الملوثات الأصلية.

ناقشنا في القسم السابق الرياح وأثرها على تشتيت الملوثات الهوائية؛ وفي القسم التالي سوف نناقش العوامل المهمة الأخرى التي تلعب دوراً في انتشار ملوثات الهواء. بصورة أساسية يعتمد انتشار ملوثات الهواء من المصادر النقطية على الظواهر الجوية مثل الرياح. كم أن للعوامل الأخرى (الاضطراب، معدل الانقضاء الأدياباتيكي، ارتفاع الخلط، الطبوغرافية الأرضية، وإنقلابات درجة

الحرارة، وارتفاع السحب الدخانية وانتقالها) تأثيراتها على انتشار الملوثات الهوائية أيضاً.

الإضطراب: Turbulence

في الجو، ترتبط درجة **الإضطراب** (turbulence) (الناتجة من سرعة الرياح و ظروف الحَمل المرتبطة بتغير درجة الحرارة مع الإرتفاع فوق سطح الأرض) **بالاستقرار (Satbility)** (والتي هي دالة التوزع الأفقي لدرجة الحرارة الجوية؛ إنظر القسم القادم). ويقصد بثباتية الجو أو استقراره قابلية حزم الهواء المتصاعدة للحركة الرأسية؛ وإعتبارات الثباتية أو عدم الثباتية الجوية مهمة في تحديد معدل انتشار الملوثات. حينما نناقش ثباتية الجو بصورة محددة، فإننا نعني بذلك أقل الارتفاعات عن سطح الأرض أي المكان الذي تنبعث منه الملوثات الهوائية تصنف ثباتيه (استقرار) الجو مستوى الاضطراب الجوي. وتعتبر معدلات فترة الانقضاء الحولية والادياباتية مقاييس لاستقرارية الجو.

تقسم الثباتية إلى ثلاثة أصناف: ثابت، غير ثابت، ومتعادل. يتميز الجو الثابت بأن الهواء يكون أبرد عند الأرض مقارنةً بالهواء عند الارتفاعات الأعلى، وبسرعة رياح منخفضة، وبالتالي يتميز بدرجة منخفضة من الاضطراب. يمكن للسحابة من أبخرة الملوثات التي يتم إطلاقها في طبقة منخفضة ثابتة من الجو أن تظل ثابتة، بصورة نسبية، على مدى مساحات طويلة. وعليه، يمكن القول إن الهواء الثابت يثبط من انتشار وتخفيف الملوثات. بينما يتميز الجو غير الثابت بدرجة أعلى من الاضطراب. يمكن لسحابة أبخرة الملوثات المطلقة في الجو غير الثابت أن تظهر بمظهر حلقي بسبب الدوامات المضطربة. والجو الثابت بصورة محايدة هو نوع يقع في الوسط بين الظروف الثابتة وغير الثابتة. تتميز سحابة أبخرة الملوثات التي تطلق في الجو الثابت بصورة محايدة بمظهر مخروطي إذ تنتشر سحابة الأدخنة في شكل الحرف الإنجليزي V.

"حالة الجو" وتأثير الثبات هما من الأهمية بمكان. ولأن مدى السهولة التي يمكن للملوثات أن تنتشر بها رأسياً إلى الجو، يتحدد بصورة أساسية بمعدل تغير درجة الحرارة مع الإرتفاع، فإن ثباتية الهواء هي عامل أساسي في تحديد المكان الذي تنتقل فيه الملوثات، وطول الفترة التي تظل فيه هذه الملوثات مرتفعة.

يثبط الهواء "الثابت" من الانتشار ومن تخفيف الملوثات. وعلى العكس من ذلك، يحدث الإختلاط الرأسي، في ظروف الهواء غير المستقر، مشجعاً تشتت الهواء، الشيء الذي يحسن من جودة الهواء.

معدل الإنقضاء الأدياباتيكي
Adiabatic Lapse Rate

عادة ما تقل درجة حرارة الهواء المحيط مع زيادة الإرتفاع في التروبوسفير. ويدعى معدل تغير درجة الحرارة مع الإرتفاع بمعدل الإنقضاء. وفي المتوسط، يتضمن معدل الإنقضاء الأدياباتيكي نقصاً في درجة الحرارة بمعدل – 0.65^o م/100 متر أو –6.5 ^{o}م/كيلومتر.

في البيئة الجافة، حينما ترتفع حزم الهواء الجاف في الجو، فإنها تمر بتمدد و تبريد أدياباتيكي. ينتج عن التبريد أدياباتيكي معدل إنقضاء يساوي –1 ^{o} م /100 متر أو 10^{-1} ^{o} م/كيلومتر، **معدل الإنقضاء الأدياباتيكي الجاف** (dry adiabatic lapse rate). يعني المصطلح أدياباتيكي، أنه لا يحدث تبادل للحرارة بين حزم الهواء المتصاعدة و الهواء المحيط؛ أي أن، معدل الإنقضاء الأدياباتيكي هو دالة في للإرتفاع فقط.

حينما يفوق معدل إنقضاء الوسط المحيط معدل الإنقضاء الأدياباتيكي، فإن معدل إنقضاء الوسط المحيط يدعى بالمعدل الفوق أدياباتيكي، ويكون الجو غير ثابت بصورة كبيرة. حينما يتساوى معدلا الإنقضاء بصورة تامة، فإن الجو يكون متعادلاً. حينما يقل معدل إنقضاء الوسط المحيط عن معدل الإنقضاء

الأدياباتيكي الجاف، فإن معدل إنقضاء الوسط المحيط يدعى بالمعدل التحت أدياباتيكي، وحينها يكون الجو مستقراً (بيفي وآخرين 1985).

يفترض أن عملية التبريد المتضمنة في حزمة الهواء المتصاعدة هي عملية أدياباتيكية (أي تحدث بدون إضافة أو فقدان للحرارة). تسلك حزمة الهواء المتصاعدة (تحت الظروف الأدياباتيكية) كالبالون المتصاعد، إذ يتمدد الهواء في تلك الحزمة المميزة حينما يصادفها هواء أقل كثافة، إلى أن تتساوى كثافتها مع كثافة الهواء المحيط. كما يفترض أن هذه العملية تحدث بدون تبادل للحرارة بين الحزمة المتصاعدة و الهواء المحيط.

الخلط Mixing

لكي يحدث تشتت فعال للملوثات، داخل الجو، لا بد من حدوث إختلاط عنيف. الإختلاط العنيف، الذي ينتج من حركة الهواء في البعد الرأسي، يتم تعزيزه بإختلاف درجة الحرارة الرأسية. وكلما كان تدرج درجة الحرارة أكثر حدةً وعمود الهواء الأفقي الذي يحدث به الإختلاط أكبر، كلما زادت شدة المزج الإضطرابي والحملي.

الطوبوغرافيا Topography

يمكن للمظاهر الطوبوغرافية بالقرب من مصادر المنطقة والمصادر النقطية (على مستوى محلي في منطقة جيوغرافية تمتد على إمتداد يقل عن 100 ميل) أن تؤثر على حركة الهواء. في الولايات المتحدة، تقع معظم المراكز الحضرية على إمتداد المناطق الساحلية للبحيرات و للبحر. كما توجد الكثير من الصناعات في هذه المناطق الحضرية الكبيرة. ولحركة إنسياب الهواء المحلي في هذه المناطق الحضرية تأثير كبير على عمليات تشتيت الملوثات. وتؤثر المظاهر الطوبوغرافية كذلك على حركة الطقس المحلي كذلك، خصوصاً في المراكز الحضرية الكبيرة الواقعة قرب البحيرات، والبحار، والأراضي المفتوحة. يؤثر النسيم القادم من هذه المظاهر الطوبوغرافية على الخلط الرأسي للملوثات

وعلى انتشارها. كذلك، يمكن للفروق الموسمية في تبريد وتسخين أسطح اليابسة و الأسطح المائية أن تتسبب في تكون الانقلابات بالقرب من شواطئ البحار أو البحيرات.

أودية الأنهار هي بدورها من المواقع الجغرافية التي تعاني بصورة متكررة من التلوث ذي الصلة بالصناعة. أقيمت العديد من المستوطنات الباكرة في أودية الأنهار بسبب توفر الإمدادات المائية وسهولة نقلها لمستوطني هذه الأودية. إضافة للمستوطنين، جاءت الصناعة- من النوع الذي لا بد وأن ينتج ملوثات هواء. ولا يمكن إزالة ملوثات الهواء من هذه المواقع بسهولة بسبب طبيعة تركيب الأودية و اليابسة.

تسمى الرياح التي تتحرك عبر الوادي النهري **برياح المنحدر** (valley winds). هذه الرياح، مثلها مثل الماء، تنساب إلى أسفل باتجاه قاع الوادي. وعندما تصل هذه الرياح إلى قاع الوادي، تتحول إلى **رياح الوادي** التي تنساب أسفل الوادي باتجاه جريان النهر. تكون الرياح أسفل الوادي أخف من رياح المنحدر، ويصبح قاع الوادي مغموراً بحجم كبير من الهواء الشيء الذي يزيد من وطأة الانقلاب السطحي الناتج عن التبريد الإشعاعي. كما يزيد عمق الانقلاب مع توغل الليل، ليصل إلى حده الأقصى في آخر لحظات السَحَر. ويعتمد ارتفاع طبقة الانقلاب على عمق الوادي، وعلى شدة عمليات التبريد الإشعاعي.

يمكن للتلال والجبال أن تؤثر على انسياب الهواء المحلي. تميل هذه المظاهر الطوبوغرافية لتخفيف حدة الرياح (بسبب خشونة السطح) كما تمنع الحواجز الطبيعية حركة الهواء.

إنقلابات درجة الحرارة Temperature Inversions

تكون إنقلابات درجة الحرارة (الحالات المتطرفة من الثباتية الجوية) في الواقع غطاءاً للحركة التصاعدية للتلوث الجوي (إنظر الفصل العاشر). ومن وجهة

النظر الخاصة بجودة الهواء يوجد نوعان مهمان من الإنقلابات: الإنقلابات الإشعاعية، والإنقلابات الإنخسافية.

تسرع الإنقلابات الهوائية من تكوين الضباب، وتحتجز في الوقت ذاته الغازات والمواد الحبيبية، مكونةً تركيزاً من الملوثات. تعد هذه الإنقلابات ظاهرة ليلية و يتسبب فيها سطح الأرض. في الليالي الغائمة، تميل الحرارة المشعة من الأرض لأن تمتص بواسطة بخار الماء في الجو. كما يعاد إشعاع بعضها إلى السطح. بينما، يشع السطح الطاقة بسهولة أكثر إلى الغلاف الجوي وما وراءه، في الليالي الصافية وهو الشيء الذي يسمح بتسريع وتيرة تبريد الأرض. كذلك يبرد الهواء الملامس للأرض الأبرد، فتزداد برودته وتقل درجة حرارته عن الهواء الموجود فوقه، مكوناً بذلك إنقلاباً قريباً من الأرض، قد يستمر لساعات معدودة. إلا أن هذه الإنقلابات الإشعاعية تبدأ في التكون في أسوأ أوقات اليوم بالنسبة للبشر في المناطق الحضرية الضخمة- أي حينما تبدأ حركة السير في النمو-محتجزةَ بذلك أبخرة عوادم السيارات في المستوى الأرضي ما يسبب تعريض الركاب لمستويات مرتفعة من التلوث. لا يمكن للتفاعلات الكيميائية الضوئية أن تحدث خلال ساعات المساء، لذا تصبح المشكلة الكبرى هي تراكم أول أوكسيد الكربون. عند شروق الشمس، تسخن الشمس الأرض ويبدأ الإنقلاب في التفكك وتجلب الملوثات التي تم إحتجازها في كتل الهواء الساخن فجأة إلى الأرض بعملية تُعرِّف بإسم التعفير (fumigation). يمكن للتعفير أن يتسبب في وجود تراكيز عالية من الملوثات ذات عمر قصير في المستوي الأرضي(ماستر. 1991).

النوع الثاني من الإنقلاب هو **الإنقلاب الإنخسافي** (Subsidence inversion) والذي عادة مايرتبط بنظام الضغط العالي. يمكن لهذه الإنقلابات التي تُعرِّف بمضادات الزوابع (anticyclones)، أن تؤثر بشدة على انتشار الملوثات فوق مساحات شاسعة. يحدث الإنقلاب الإنخسافي بسبب

خصائص غوص الهواء في مناطق الضغط العالي. كما يهبط الهواء في منتصف منطقة الضغط العالي ببطء. ومع هبوطه ينضغط ويُسَخَن، مشكلاً غطاءً من الهواء الدافئ فوق الهواء البارد الموجود تحته، ويُكَوِن بذلك الإنقلاب (الذي يمكن أن يوجد في مسافات تتراوح بين عدة مئات من الأمتار إلى عدة آلاف فوق السطح) الذي يمنع إستمرار الحركة الرأسية للهواء.

تصاعد السحابة الدخانية Plume Rise

إن إحدى الطرق السريعة لتحديد إستقرار الجزء الأدني من الغلاف الجوي هو تفحص شكل الأثر الدخاني أو السحابة الدخانية المنبعثة من المداخن على الأراضي المسطحة (أنظر الشكل 1.12). تتكون السحابات الدخانية المرئية من الملوثات التي تبعثها المداخن إلى الغلاف الجوي. ويعتمد تكوُّن السحابات الدخانية نفسها ومصيرها على عدد من العوامل المترابطة منها: طبيعة الملوثات، وعوامل الإرصاد الجوي، وحواجز المصدر، والطوبوغرافيا المحلية، خصوصاً الرياح السفلية. وبصورة عامة تتواجد التراكيز الأكبر في المناطق التي تجاور المداخن و المناطق الكائنة على مسافة من الرياح.

يظهر الشكل 1.12 الأنواع التقليدية لسلوك السحابات الدخانية. حينما يكون الجو مستقراً بصورة ضئيلة، تأخذ السحابات الدخانية في العادة شكل المخروط (أنظر الشكل12.1أ) وحينما يكون الجو غير ثابت بدرجة كبيرة تأخذ السحابات الدخانية أشكالاً حلقية (أنظر الشكل12.1ب). يتعرض تيار الملوثات المنبعثة، في السحابات الدخانية الحلقية، لخلط سريع، وتتسبب الرياح في تكوين دوامات ضخمة يكون بمقدورها حمل السحابة الدخانية كلها إلى الأرض، متسببة بذلك إحداث تراكيز عالية للملوث بالقرب من المداخن قبل أن تكتمل عملية الانتشار. في الجو المستقر بدرجة كبيرة، تنتشر السحابات الدخانية الانتشارية أفقياً (أنظر الشكل12.1ج) ويحدث بها القليل من الخلط. وحينما توجد طبقة إنقلاب على مسافة قريبة فوق مصدر السحابة الدخانية، فإن هذه السحابة

الدخانية تتعرض للتبخير (أنظر الشكل12.1د). حينما توجد ظروف الإنقلاب تحت مصدر السحابة الدخانية هذه السحابة "تتصاعد (أنظر الشكل12.1هـ). وحينما تكون الظروف متعادلة، تميل السحابة الدخانية عادة إلى الصعود مباشرة إلى الجو(أنظر الشكل 12.1و). وحينما تعم طبقة الانقلاب فوق وتحت مصدر السحابة الدخانية، فإن هذه السحابة تميل لأن تحتجز(أنظر الشكل 12.1ز).

يندر أن يأتي انتشار الملوث من مصدر نقطي (point source) وحيد (السحابات الدخانية الناتجة من المداخن). يتم توليد العديد من السحابات الدخانية وتجميعها في سحابة دخانية ضخمة (السحابة الدخانية للمدينة) في المناطق الحضرية الضخمة. ويعد تشتيت هذه الملوثات تحدياً بيئياً ضخماً.

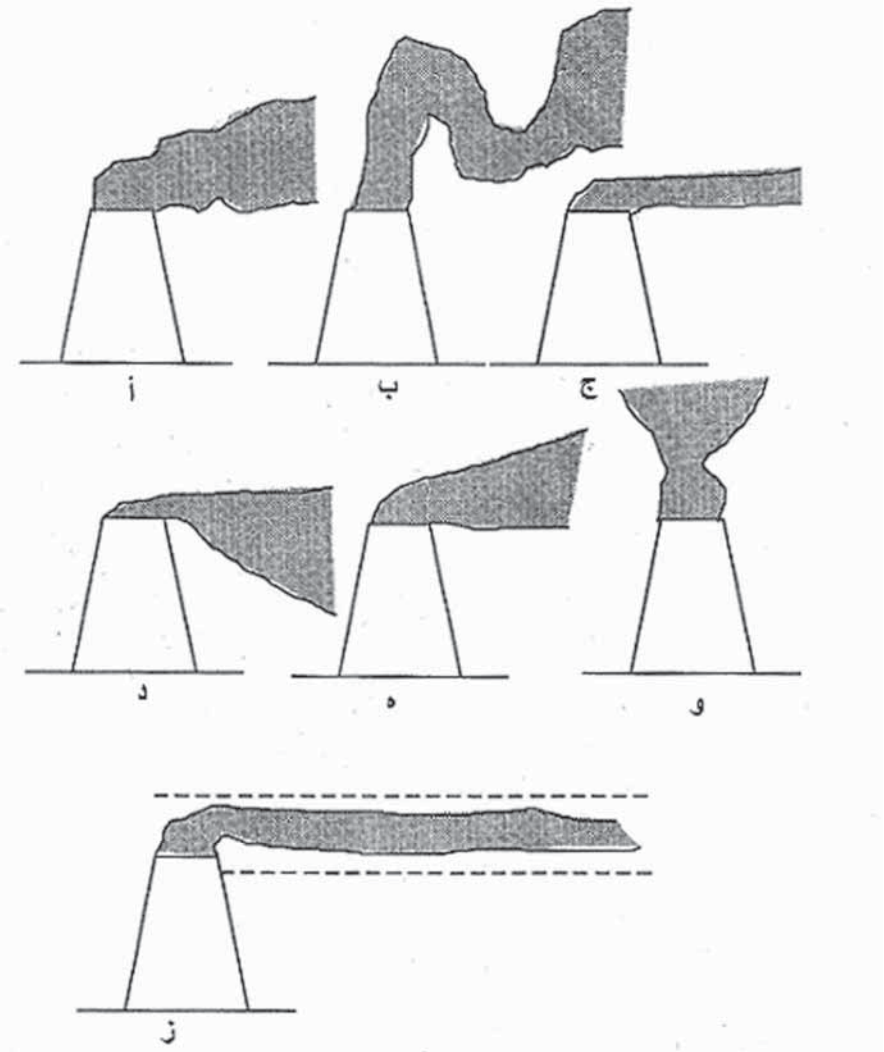
تؤثر التراكيز العالية من الملوثات الناتجة من سحابة الدخان الضخمة هذه على صحة البشر وعلي رفاهيتهم. ومما يفاقم من مشاكل جودة الهواء المرتبطة بانتشار سحابة الملوثات وجود البيئة الملوثة أصلاً. وعلى الرغم من أن العمليات التقليدية التي تعمل عادة على تشتيت الإنبعاثات من المصادر النقطية التي تحدث داخل سحابة الدخان الضخمة، إلا أنه، وبسبب المناخات المحلية داخل المدينة، وحجم الملوثات التي يتحتم معالجتها، فإن هذه الملوثات تصبح أقل فعالية. الظروف المعقدة الأخرى الموجودة في المناطق التي يتم فيها توليد السحابات الدخانية(الحواجز الطبوغرافية، والإنقلابات السطحية، ومضادات الزوابع الراكدة) تعمل جميعها على زيادة شدة السحابات الضخمة وتزيد من تراكيز الملوثات.

النقل Transport

سوف يتفاجأ السكان القاطنون في شرقي نهر المسيسبي لو عرفوا أنهم يتنفسون هواءاً ملوثاً بملوثات يقع مصدرها على بعد عدة أميال منهم. ينظر معظم الناس إلى تلوث النظرة المعادة التي تقول بأن" البعيد من العين بعيد عن

الخاطر". وفي ما يعنيهم، أن ما لا يرونه لا وجود له. لكن أنساق الطقس وحركة الهواء ترسل ملوثات الوسط الغربي بعيداً إلى الشرق وإلي الشمال: تؤثر الملوثات من وادي أوهايو على الأنظمة البيئية في ولاية مين. إفترض أن شخصاً في مزرعة في ريف أركنساس يراكم كومة ضخمة من النفايات المجمعة لكي يحرقها. لا يفكر الشخص الذي يهيئ هذه النار الضخمة كثيراً في النقل طويل المدي (وتوابعه) لأي ملوثات يمكن أن تتولد من هذه النار. هذا الشخص، ببساطة، لديه قمامة يريد أن يتخلص منها وتوفر له عملية الحرق حلاً منخفض التكلفة وسهل التنفيذ. ولنفترض أن هذه الكومة الضخمة من النفايات تحتوي على عدة عناصر: إطارات مطاطية قديمة، وقناني غاز مضغوط قديمة، وأواني بلاستيكية مجمعة، وأوراق، وزيوت وشحوم، وخشب، وعلب طلاء قديمة. لا ينظر الشخص الذي يقوم بحرق هذه المواد اليها بإعتبارها مواد خطرة – بل يراها مجرد نفايات منزلية. وحينما تشعل هذه الكومة من النفايات و يسمح لها بالإحتراق، يبدأ مُشعل النار في مشاهدة سحابة الدخان المهولة التي تتكون وتحمل بعيداً بواسطة الرياح المتجهة غرباً. ينظر مشعل النار بعيداً إلى يمينه والى أسفل منه ويلاحظ أن الدخان قد إختفى (هل إختفى أم أصبح بعيداً عن العين) حينما وصل الدخان إلى بعد عدة أميال فوق حدود أرضه، وكما هو واضح بالنسبة لمشعل النار هذا، تكون عملية التخفيف في الغلاف الجوي الشاسع قد بددت سحابة الدخان. ولكن مشعل النار هذا لم يعر الأمر أي انتباه، وينصرف. وهكذا هنالك مستويات مرتفعة من العديد من مثل هذه الحرائق قد توجد على بعد مئات أو آلاف الأميال إلى الأسفل من نقاط تجميع هذه المصادر النقطية التي تنتج هذه السحابات الدخانية. و ينتهي الأمر بأن يتنفس أناس قاطنون على بعد عدة أميال من مولدي التلوث هؤلاء هواءاً ملوثاً، منقولاً عبر مسافات بعيدة إلى حيث يقطنون. و بطبيعة الحال، تتسبب المصادر الصناعية والمصادر ذات الصلة بإنتاج الطاقة بإنتاج

سحابات دخانية أكثر خطراً بكثير من التلوث الذي يتسبب فيه الأفراد.



الشكل 1.12 سبع من أنواع سلوك السحابات الدخانية

نماذج الانتشار Dispersion Models

تستخدم نماذج جودة الهواء للتنبؤ بمصير الغازات التي يحملها الهواء، أو المادة الحبيبية، أو تراكيز الملوثات في المستوى الأرضي أسفل المصادر النقطية، أو

لوصفها. ومن أجل تحديد أهمية أثر جودة الهواء على منطقة معينة، نضع في الإعتبار أولاً، التراكيز المعتادة في الخلفية، وتراكيز الملوثات من المصادر الطبيعية، أو المصادر البشرية البعيدة التي لم يتم التَّعرُّف اليها. إن لكل منطقة جغرافية، مستوى مميزاً من الملوثات يعتبر هو متوسط الخلفية السنوي لبعض الملوثات – قد يكون لمنطقة ما، على سبيل المثال، تركيز للمواد الحبيبية يبلغ 30–40 ميكروغرام/متر^3 في منطقة معينة؛ إذا زادت قراءات المواد الحبيبية في منطقة معينة على مستوى الخلفية، فإن هذا يعني أنه قد يوجد مصدر تلوث إضافي. ولتحديد مستوى تلوث الخلفية لمصدر معين موضوع في الإعتبار، لا بد من جمع بيانات جودة الهواء لذلك الموقع و لجواره و تحليلها.

أدركت وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة الأمريكية أنه لا بد من إرساء بعض الطرق التي يتم بها الحفاظ على الإتساق عند حساب الانتشار الجوي لملوثات الهواء في عملية تحليل جودة الهواء. وعليه أصدرت الوكالة دليلين إرشادين للمساعدة في عملية نمذجة تحاليل جودة الهواء: المبادئ الموجهة لنماذج جودة الهواء (1978)؛ و دليل المستخدم للنماذج المعقدة للمصادر الصناعية (1986).

توصي وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة الأمريكية و الخبراء الآخرون في هذا المجال باتباع طريقة من أربعة خطوات عند إجراء حسابات التشتت، خصوصاً لدراسات الآثار الصحية:

1. حدد بصورة تقريبية المعدل و الفترة الزمنية للإطلاق في البيئة.
2. اختر أفضل النماذج لإجراء الحسابات.
3. أجرِ الحسابات و تحصل على تراكيز الملوث عند المصب، بما في ذلك خطوط التراكيز المتساوية الناتجة من إنبعاثات المصدر.

4. حدد أثر التفريغ الناتج (إن وجد) على البيئة، بما في ذلك البشر، والحيوانات، والغطاء النباتي، ومواد البناء. تشمل هذه الحسابات في العادة تقدير ما يعرف بالمناطق المعرضة للخطر أي، المناطق التي يمكن أن تتضرر بشدة من الإنبعاثات (هولمز، و سنغ، و ثيودور 1993).

وقبل الشروع في أي نشاط من أجل تحديد الانتشار، ينبغي أن تحدد أولاً تراكيز المستوى الأرضي المقبولة من ملوثات النفايات. ويجب أن نضع في إعتبارنا كذلك القنوات الجوية والطوبوغرافيا المحلية، كما لا مفر من المعرفة الدقيقة بمكونات النفايات الغازية وخواصها الكيميائية والفيزيائية (وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة الأمريكية 1986).

توفر نماذج جودة الهواء طرقاً غير مكلفة لتحديد مدى الإمتثال والتنبؤ بدرجة إنقاص الإنبعاثات اللازمة للوصول لمعايير جودة الهواء المحيط. يتوجب كذلك إستخدام النماذج، بحسب متطلبات قانون الهواء النظيف المعدل للعام 1977، لتقييم طلبات الرخص ذات الصلة بالزيادات التدريجية المسموح بها تحت ما يعرف بمتطلبات منع التدهور البليغ، التي تلزم المحليات بـ"حماية و تعزيز الهواء غير الملوث" (قودش 1997).

تم تطوير عدة نماذج لعملية الانتشار. هذه النماذج ما هي في الحقيقة إلا معادلات رياضية لوصف النقل و الانتشار الجوي للملوثات الهوائية في منطقة بعينها، الشيء الذي يسمح بالتحصل على قيم تقريبية لتراكيز الملوثات، التي تأخذ شكل سحابات دخانية وتنتج من المصادر الأرضية أو المصادر الموجودة على إرتفاعات كبيرة (كارسون وموسس 1969). وتتوفر الآن برامج نمذجة سهلة الإستخدام يمكنها أن تنتج نتائج سريعة ودقيقة باستخدام البيانات ذات الصلة الموجودة عند مشغلها.

ليس في منظور هذا الفصل تطوير مناقشة كل نموذج انتشار بالتفصيل، بل يهدف بدلاً من ذلك إلى التوصية باستخدام النموذج ذي التطبيقات الأوسع في زمننا هذا. و لعل أفضل كتاب عمل نشر إلى يومنا هذا في موضوع النمذجة هو الكتاب الذي ألفه تيرنر (1970) لوكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة الأمريكية. ولعل أكثر نماذج انتشار الهواء المستخدمة في يومنا هذا هو **نموذج باسكويل–جيفورد** (Pasquill-Gifford Model).

خلاصة الفصل Chapter Summary

التنفس عملية آلية، إلى درجة أننا لا نستطيع أن نوقفها بمحض إرادتنا لفترة طويلة بما يكفي لإصابتنا بالضرر. ولأن عملية التنفس واحدة من العمليات التي نجريها بلا تفكير واعٍ، فإن معظم الناس لا يلقون بالاً للهواء الذي نتنفسه إلا حين يحسون بأن ثمة شيئاً ليس على ما يرام في رائحة الهواء أو في إحساسهم به. الا أن الأنف البشري ليس حساساً بما يكفي لاستخدامه أداة كشف عن هذه الملوثات. وفي ما يخص البيئة، يقودنا التفكير الرغبوي إلى الإعتقاد بأن لا بأس بالهواء الذي نتنفس، وأنه سيظل على ما يرام، وأن جونا ينظف نفسه بنفسه، كما أن له المقدرة على إمتصاص الأذى الذي نلحقه به. ونحن نتجاهل الحقيقة، حقيقة أن الهواء الذي نتنفسه يحتوي على عناصر كان ليفاجئنا ويثير قلقنا كوننا أستنشقناها. تدخل هذه الملوثات التي تحمل بطرق و مسارات شتى بيئتنا، وحياتنا، وأجسامنا. وتؤثر على عالمنا، وحياتنا وصحتنا.

لحسن الحظ، أضحى من الممكن الآن، لدرجة ما، أن نتنبأ بحدوث تلوث الهواء إعتماداً على بيانات الأرصاد الجوية. كما نفذت وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة الأمريكية وعدة وكالات أخرى من هيئات التحكم في

تلوث الهواء أنظمة إنذار مبكر كما تعمل هذه الوكالات على تحجيم الإنبعاثات و الحد منها.

أسئلة مناقشة و مشكلات

Discussion Question and Problems

1. سم وعرف نوعين من الإنقلابات الحرارية.
2. ما هي العوامل الجوية التي تؤثر على تشتت الملوثات من المصادر المدينية؟
3. إشرح سبب حدوث نسيم اليابسة ونسيم البحيرات.
4. إشرح سبب كون الأودية أكثر عرضة لحدوث الإنقلابات مقارنةً بالأراضي المسطحة.
5. ما هي مستويات ثباتية الجو عند حدوث: التحلق، والتخرط، والانتشار؟
6. ما هي الظروف الجوية التي تنتج التبخير؟

مشاريع أبحاث مقترحة و مشاريع

Suggested Research Topics and Projects

- إشرح السبب وراء حقيقة أن لحركة الهواء مزايا و عيوباً في شأن معالجة ملوثات الهواء.
- تفحص الصلات الطبيعية بين الجو، و تلوث الهواء، وعلم الأرصاد الجوية.
- تفحص الكيفية التي يؤثر بها الطقس ميكانكياً على التلوث.
- تفحص الكيفية التي يؤثر بها الطقس كيميائياً على التلوث.
- تفحص مواضعاً محددة في الولاية التي تعيش فيها بحثاً عن مظاهر جيوغرافية/جيولوجية تؤثر على حركة الهواء.

• أجرِ بحثاً عن نماذج التشتت، و عن كيفية عملها، و ما يراد منها أن تنجزه.

المراجع المثبتة
Cited References

Brown, M. H. *The Toxic Cloud*. New York: Harper & Row, 1987.
Carson, J. E., and H. Moses. "The Validity of Several Plume Rise Formulas." *Journal of the Air Pollution Control Association* 19, no. 11 (1969): 862.
EPA. *Guidelines on Air Quality Models*. Washington, D.C.: EPA, 1978.
———. *Industrial Source Complex (ISC) Dispersion Models User's Guide*. Washington, D.C.: EPA, 1986.
Godish, T. *Air Quality*. 3rd ed. Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers, 1997.
Holmes, G., B. R. Singh, and L. Theodore. *Handbook of Environmental Management & Technology*. New York: Wiley, 1993.
Masters, G. M. *Introduction to Environmental Engineering and Science*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1991.
Peavy, H. S., D. R. Rowe, and G. Tchobanglous. *Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill, 1985.
Turner, D. B. *Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates*.Washington, D.C.: EPA, 1970.

مراجع مقترحة
Suggested References

Crawford, M. *Air Pollution Control Theory*. New York: McGraw-Hill, 1976.
EPA. *Guidelines on Air Quality Models (Revised)*. Washington, D.C.: EPA, 1986.
Perkins, H. C. *Air Pollution*. New York: McGraw-Hill, 1974.
Scorer, R. S. *Meteorology of Air Pollution Implications for the Environment and Its Future*. New York: Ellis Horwood, 1990.
Seinfeld, J. H. *Air Pollution, Physical and Chemical Fundamentals*. New York: McGraw-Hill, 1975.
Stern, A. C., and H. C. Wohlers. *Fundamentals of Air Pollution*. New York: Academic, 1984.
U.S.C. § 7401. *Clean Air Act* (including the Clean Air Act Amendments of 1990, P. L. 101–549).

الفصل الثالث عشر

التغير الجوي–تغير المناخ الكوني

Atmospheric Change – Global Climate Change

الأوزون: جيكل وهايد المواد الكيميائية

Ozone: The Jekyll and Hyde of Chemicals

في رواية الرعب الكلاسيكية د. جيكل ومستر هايد لمؤلفها روبرت لويس إستفنسون، يمثل جيكل وهايد وجهين مختلفين لنفس الشخص. فشخصية الدكتور جيكل الطيب والشفوق تعادلها طبيعة مستر هايد الشريرة والفاترة. وكذلك لجزيئ الأوزون نفس القدرة على الجمع بين الخير والشر في كينونة واحدة.

الأوزونهو جزيئ يتكون من ثلاث ذرات من الأوكسجين. وعلى ارتفاع يتراوح ما بين 50,000 إلى 120,000 قدم، تشكل جزيئات الأوزون بشكل حزمة سميكة تحمي الأرض من الأشعة فوق البنفسجية التي يمكن أن يكون لها آثار مؤذية. وللأوزون الموجود في طبقة الستراتوسفير (أي الأوزون في نسخة دكتور جيكل الطيبة)، والذي تكون في الغلاف الجوي بفعل الإشعاع الشمسي، وظيفة مفيدة جداً. والحياة التي نعرفها لم تكن لتتطور لولا وجود طبقة الأوزون هذه في مكانها.

من ناحية أخرى، ينظر مركز التحكم في الأمراض الموجود في أطلانطا إلى الأوزون بصورة ناقدة أكثر. ويشير علماء هذا المركز إلى أن الأوزون (في هيئة مستر هايد الشرير) هو ملوث شديد الخطورة. بحيث أن إثنين بالمائة من الغرام منه تمثل جرعة قاتلة. ويمكن لعلبة واحدة تسع 14 أوقية من الهباء الغازي (aerosol) الحاوية على هذا التركيز أن تقتل 14000 شخص. كما أن فعالية الأوزون في إلحاق الضرر بأنسجة الرئة تماثل فعالية غاز الخردل في هذا الصدد. وليس غاز الأوزون بواحد من أكثر الغازات سمية على وجه

الأرض فحسب، بل إنه مساهم رئيسي كذلك في تلوث الهواء، وبالأخص في تكوين الضبخان.

أهداف الفصل

Chapter Objectives

بعد نهاية هذا الفصل ينبغي أن تكون قادراً على أن:

- تتعرف على بعض الممارسات التي تغير من جونا، ، وتصف تأثير كل منها على الهواء.
- تعرف وتصف الإحترار الكوني، وتتعرف على المشاكل الموروثة في إثبات حدوث الإحترار الكوني من عدمه.
- تصف وتناقش العلاقة بين الإحترار الكوني وتغيرات غاز الدفيئة. وتتعرف على، وتعرف المساهمين الرئيسيين في غازات الدفيئة.
- تناقش الترتيبات المضادة التي تستخدم لتفنيد إمكانية الإحترار الكوني.
- تصف وتناقش العوامل الست التي يعتقد العلماء أنها ذات صلة بالإحترار الكوني طويل المدى.
- تصف وتناقش الإختبارات التي يستخدمها العلماء لمعرفة أثر أو بصمة غازات الدفيئة، وكيفية دلالة هذه الغازات على الإحترار الكوني طويل الأمد.
- تتعرف على إحتمالية إرتباط الارتفاع في مستوى مياه البحر بالاحترار الكوني، وتتعرف على العوامل المؤثرة ذات الصلة.
- تصف وتناقش الآثار الممكنة لارتفاع مستوى مياه البحر، وتعرف قاعدة برن. وتستخدم قاعدة برن لوصف كيفية تأثير ارتفاع مستوى البحر على المناطق الساحلية.
- تصف كيفية تأثير ارتفاع مستوى البحر على المجموعات البشرية.

- مناقشة الأس الهيدروجيني للترسيب والعمليات التي تنتج الترسيب الحمضي، وتعرف مسببات إنخفاض الأس الهيدروجيني للترسيب.
- تصف كيفية عمل التربة كعامل منظم للترسيب الحمضي ولإثاره على البحيرات.
- تصف العناصر الضرورية لتكوين الضبخان الكيميائي الضوئي والعوامل التي يعتقد أنها تساهم في تكوينه.
- تصف العملية التي تنتج بها مكائن الإحتراق الداخلي الانبعاثات المسببة للضبخان الكيميائي الضوئي.
- تناقش نضوب الأوزون في طبقة الستراتوسفير، وتتعرف على المركبات التي تساهم فيه، وتصف الآثار المترتبة على إستمراره.

خطة الفصل

Chapter Outline

- تعريف ومناقشة: الأساليب التي يستخدمها البشر لتغير بيئة الأرض بصورة خطرة.
- تعريف ومناقشة: طبيعة ومسببات الإحترار الكوني.
- تعريف ومناقشة:التغيرات في تأثير غاز الدفيئة.
- تعريف ومناقشة: كيفية إرتباط غاز الدفيئة بالإحترار الكوني، والآراء المضادة له.
- تعريف ومناقشة: العوامل التي تعمل على تغير متوسط حرارة الأرض.
- تعريف ومناقشة: المؤشرات الكونية على حدوث تغيرات طويلة الأمد في درجة حرارة السطح.
- تعريف ومناقشة: التبعات المحتملة للإحترار الكوني– ارتفاع مستوى البحر.

- تعريف ومناقشة: كيفية تأثير ارتفاع مستوي سطح البحر على المناطق الساحلية– قاعدة برن.
- مناقشة: كيفية تأثير مستويات ارتفاع مستويات البحار على التجمعات البشرية.
- تعريف ومناقشة: مسببات وآثار الترسيب الحمضي.
- تعريف ومناقشة: تاريخ الضبخان الكيميائي الضوئي وكيفية عمل مكائن الإحتراق الداخلي تهيأة الظروف لتكوينه.
- تعريف ومناقشة: كيفية تأثير الأنشطة البشرية في الأرض على الأوزون في الستراتوسفير، وخطوات التغير الجاري .

المصطلحات الرئيسية

كلورات فلورات الكربون	Chlorofluorocarbons (CFCs)	المعادن الثقيلة	Heavy metals
الإحترار الكوني	Global warming	الأشعة تحت الحمراء	Infrared radiation
تأثير غاز الدفيئة	Greenhouse effect	بروتوكول مونتريال	Montreal Protocol
غازات الدفيئة	Greenhouse gases	الضبخان الكيميائي الضوئي	Photochemical smog
الجزر الحرارية	Heat islands	ارتفاع مستوى البحر	Sea-level rise

مقدمة
Introduction

ما مدى جدية مشكلة تلوث الهواء؟ الإجابة البسيطة هي: يمكنك أن تراهن بحياتك على مدى جديتها. وهذا هو بالضبط ما نفعله، نراهن بحياتنا، كلنا. يتخطى تلوث الهواء حدود الأقطار ويهدد النظام البيئي الكوني. فهل يجب أن نصاب بالهلع؟ أينبغي أن نلتحق بالمنظمات "الخضراء" المتطرفة؟ ليس تماماً. هل يجب أن نقلق بسبب المشاكل البيئية؟ نعم. ما مدى جدية المشكلة بالضبط؟ المشكلة جدية جداً.

لقد غير البشر من البيئة بطرق دراماتيكية، خصوصاً في المائتي عام الأخيرة. نركز في هذا الفصل على الأنشطة البشرية التي تؤثر على عالمنا بطريقة عميقة. هذه الأنشطة ليست لغزاً ولا هي بالسرية؛ وفي الواقع، هذه الأنشطة جلية للعيان؛ ويشارك معظمنا فيها بصورة يومية. وكما ذكر جرادل وكرتزن (Graedel and Crutzen) (1989)، فإن الأنشطة البشرية تغيّر من الجو حولنا. ويمكن أن نلخص هذه الأنشطة في الآتي: (1) تبعث الأنشطة البشرية بمجموعة متعددة من الملوثات الجوية؛ (2) تؤدي الممارسات البشرية المتمثلة في حرق كميات كبيرة من الوقود الأحفوري إلى انبعاث كميات ضخمة من الملوثات إلى الغلاف الجوي؛ (3) تبعث وسائل النقل التي يستخدمها البشر بالملوثات إلي الغلاف الجوي؛ (4) تقود سوء إدارة البشر واتلافهم لسطح الأرض(إزالة الغابات) للمشاكل الجوية؛ (5) تؤدي ممارسات البشر في إزالة وحرق كميات شاسعة من الغطاء النباتي إلي إنتاج ملوثات جوية؛ و(6) تؤثر الممارسات الزراعية البشرية التي تنتج مواد كيميائية مثل الميثان على الجو. قادت هذه التغيرات التي أحدثها البشر على الغلاف الجوي للأرض إلي آثار بعيدة المدى، وتشمل هذه زيادة الترسيب الحمضي، وحدوث الضبخان

المتموضع، وتكوين غازات الدفيئة، ونضوب الأوزون، والحت المتزايد للمواد بواسطة الملوثات الجوية.

ما الذي يتوجب علينا فعله؟

يجب أن نفهم أن هناك آليات من صنع البشر تعمل على تدمير بيئتنا، كما ينبغي أن من نفهم ما نقوم به جميعنا تجاه بيئتنا؛ كذلك ينبغي أن نكون على وعي بأن بيئتنا محدودة، وليست بذات موارد لا نهائية كما أنها يمكن أن تدمر. كما ينبغي أن نتعرف بوضوح ونفهم كلَّ العوامل التي تتسبب في مشاكل البيئة وتلك التي تعمل على معالجتها. إن إدراك نقطة مهمة بصورة خاصة هو أمر من الأهمية بمكان: الحياة على الأرض وطبيعة جو الأرض على صلة ببعضهما البعض؛ وهما مرتبطان سويةً بصورة حرفية. يقود الجو مناخ الأرض ويحدد في نهاية المطاف مقدار مناسبته للحياة.

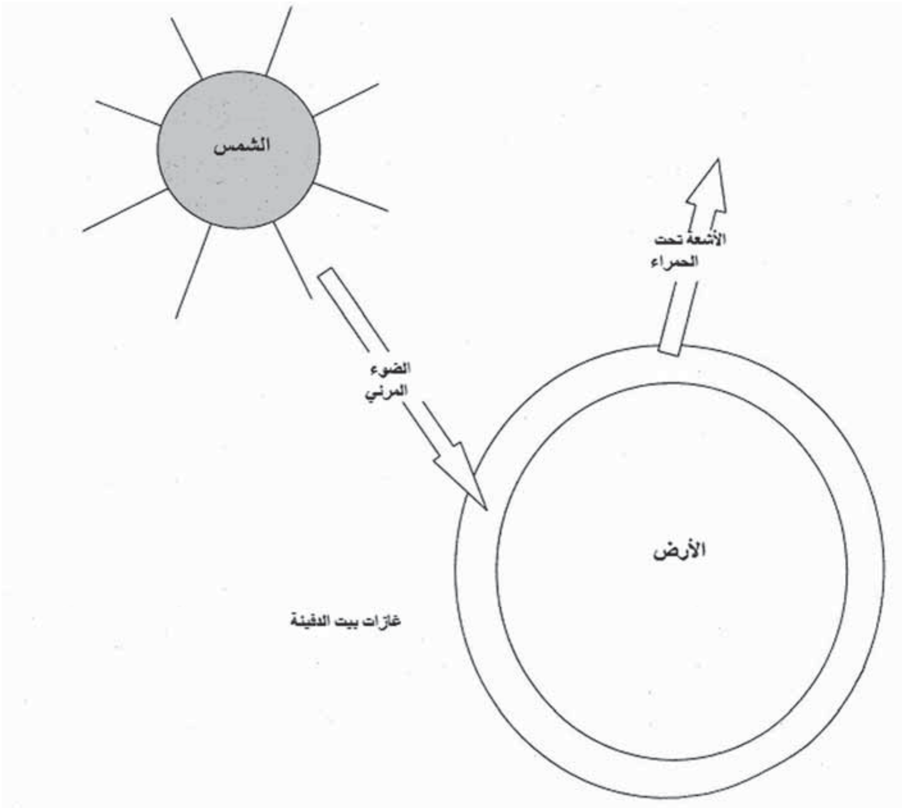
فقط عبر الذهنية العلمية المثقفة المتريثة والمدعمة بالمعلومات سيكون بمقدورنا أن نحل معضلتنا البيئية. ولكي نحافظ على بيئتنا (وأنفسنا)، يتوجب علينا أن نطور رؤية لعالم صحيح البيئة، رؤية يمكن إنجازها. وهذا أمر يمكن أن ننجزه. نناقش في هذا الفصل القضايا ذات الصلة بالتلوث البيئي لجونا ولجودة الهواء على الأرض. سوف نناقش الإحترار الكوني، والترسيب الحمضي، والضبخان الكيميائي الجوي، ونضوب الأوزون في طبقة الستراتوسفير.

الإحترار الكوني
Global Warming

ما تزال البشرية تقوم بتجربة على مستوى عالمي، غير مقصودة، وغير متحكم بها، يمكن لتبعاتها النهائية أن تحل في مرتبة ثانية فقط بعد الحرب النووية (من حيث الدمار). فإن جو الأرض يتم تغييره بمستوى غير مسبوق بالملوثات الناتجة من الأنشطة البشرية، وبالاستخدام غير الفعال والمسرف للوقود الإحفوري، وبآثار التزايد السريع في عدد السكان في العديد من المناطق. ولقد

تسببت هذه التغيرات، سلفاً، في تبعات ضارة لعدد من المناطق على إمتداد العالم. (بيان مؤتمر تورنتو، يونيو 1988).

وضح الإستشهاد السابق القضية بوضوح. لكن ما هو الإحترار الكوني؟ إنه ببساطة الارتفاع التدريجي طويل المدى لدرجة حرارة الأرض. وهذا هو ما يبدو عليه الأمر بالرغم من أن السجلات الجيولوجية تظهر أن التغيرات الحادة في المناخ تحدث من حين لآخر (كراولي ونورث 1988). وهناك سؤال آخر، قد يستخدمه البعض للتشكيك في مدى صحة تشكيل الإحترار الكوني خطراً على البيئة هو هل يحدث الإحترار الكوني بالفعل؟ وأن إجابة هذا السؤال بالغة الأهمية بالنسبة لكل أشكال الحياة على الأرض؛ وهي أيضاً موضع جدال ساخن في شتى أنحاء العالم. ومرة أخرى نقول أن الجدال بحدوث الإحترار الكوني لا ينكر أن القياسات التي أجريت في أنجلترا، وجنيف، وباريس منذ العام 1700 وأستمرت إلى وقتنا الحاضر تدل على حدوث نزعة تجاه إنخفاض درجات حرارة السطح (ثومبسون 1995).



الشكل 1.13 تأثير البيت الزجاجي

ولأغراض النقاش، دعنا نقول إن الإحترار الكوني يحدث. وإذا ما وضعنا هذا الإفتراض، فينبغي أن نسأل الأسئلة الأخرى التي تتعلق بسبب حدوثه، وكيفيته، وعن طبيعة ما يحدث. لماذا يحدث الإحترار الكوني؟ وكيف يمكننا أن نستوثق من حدوثه؟ وما هي آثاره النهائية؟ وما الذي يمكننا أن نفعل بصدده وما الذي سوف نفعله؟ من الصعب الإجابة عن هذه الأسئلة. والخطر الحقيقي هو أننا قد لا نتمكن من الإجابة عن هذه الأسئلة قبل فوات الأوان، حين تكون هذه العملية قد وصلت مرحلة متقدمة بحيث لا يعود بمقدور البشر أن يقوا أنفسهم منها أو أن يخففوا من آثارها. يرفع هذا الوضع راية الخطر، راية خطر ضخمة، ويثير أسئلة إضافية. هل نقف مكتوفي الأيدي؟ هل نتجاهل ببساطة

الأثر المحتمل لهذه المشكلة؟ هل نستخف بتبعات هذه المشكلة؟ إلا ينبغي علينا أن نأخذ حذرنا الآن قبل الغد؟ وفي الحقيقة، رفعت راية الخطر (وجود علاقة سبب وأثر لغازات الدفيئة)، إلا أنه ما زال أمامنا بعض الوقت قبل أن تؤشر هذه الراية بحدوث التغير المناخي غير القابل للإنعكاس؛ حيث يصعب تخفيف وطأة ما يحدث، وترتفع تكلفته، ويصبح من المستحيل التأثير عليه.

ما هي طبيعة مشكلة الإحترار الكوني بالضبط؟ قد لا نقدم هنا كل الأجوبة، إلا أننا على وشك أن نشرع في مناقشة هذه الظاهرة بكلياتها وفي مناقشة تأثيرها المحتمل على الأرض.

تأثير الدفيئة Greenhouse effect

لكي تفهم تأثير غازات الدفيئة على الأرض، ضع في إعتبارك الشرح القادم،الذي يعد مألوفاً لمعظم الناس (خصوصاً للبستانيين). في الحدائق الدفيئة (البيوت الزجاجية)، تنفذ الجدران الزجاجية الأشعة ذات الأطوال الموجية القصيرة بدرجة كبيرة، ويتم امتصاص هذه الأشعة بواسطة الأسطح والأجسام الموجودة داخل البيت الزجاجي هذا. وما أن تمتص هذه الأشعة حتى تتحول إلى أشعة (تحت حمراء) أطول موجة وأكثر حرارة، يعاد بثها من داخل بيت الدفيئة. إلا أن الزجاج لا يسمح للأشعة الأطول أن تهرب، بل يمتص هذه الأشعة الأكثر دفئاَ. وبسبب الحرارة المحتجزة في الداخل، تصبح المنطقة الداخلية للبيت الزجاجي أدفأ بكثير من الهواء الموجود في الخارج.

يحدث أثر البيت الزجاجي بأسلوب مشابه لما يحدث في الأرض وجوها (إنظر الشكل 1.13)، إذ يتم امتصاص الأمواج القصيرة والأشعة المرئية التي تصل إلى سطح الأرض على هيئة حرارة. ويتم إشعاع الموجات الحرارية الطويلة بعد ذلك إلى الفضاء، غير أن الغلاف الجوي يمتص الكثير منها قبل وصولها إلى الفضاء. وهذه عملية طبيعية وأساسية جداً لحياتنا على الأرض. وتحدث المشكلة عندما تبدل التغيرات في الجو (المتمثلة بغازات الدفيئة وغيرها) كميات

الامتصاص هذه بصورة جذرية، وتغير بذلك من كمية الحرارة المستبقاة. وقد تكهن العلماء في العقود الأخيرة أن هذا هو عين ما يحدث إذ تسبب عدد من ملوثات الهواء في زيادة امتصاص الغلاف الجوي للحرارة.

وحدوث هذه الظاهرة على المستوى المحلي مع تلوث الهواء، الذي يتسبب في تكوين **جزر حرارية (heat islands)** في المراكز الحضرية وفي المناطق الموجودة حولها ليس موضع سؤال. والمساهمون الرئيسون في هذه الظاهرة هي مجموعة غازات الدفيئة: بخار الماء، وثاني أوكسيد الكربون، وأول أوكسيد الكربون، والميثان، والغازات العضوية المتطايرة، وأكاسيد النتروجين، وكلورات فلورات الكربون، والأوزون الموجود في السطح. تؤخر هذه الغازات من هروب الأشعة تحت الحمراء من الأرض إلى الفضاء، متسببة بذلك في الإحترار الكوني العام. إنتبه إلى أن العلماء يؤكدون على أن هذه عملية طبيعية، وفي الحقيقة، كانت الأرض لتكون أبرد بمقدار 33 درجة مئوية لو لم يكن تأثير غازات الدفيئة "الطبيعي" موجوداً (هانسن وآخرون 1986).

ومشكلة تأثير البيت الزجاجي في الأرض هي أن الأنشطة البشرية تزيد من وتيرة الظاهرة الطبيعية، الشيء الذي يمكن أن يقود للإحترار الكوني. وهناك جدال كثيف، وإرتباك، وتخمين بخصوص أثاره المحتملة. والعلماء ليسوا على يقين كامل، ولا على إتفاق بخصوص ما إذا كانت نزعة الإحترار التي يتصور حدوثها في شتى أنحاء العالم هي نتيجة فعل غازات الدفيئة، أو هي ببساطة، إختلاف على درجة أوسع في نزعة التبريد والتسخين التي ظلوا يدرسونها لحقب طويلة. غير أن هذه العملية إذا ما تركت بدون تدخل، قد تتسبب في إحترار كوني كبير، تنتج عنه آثار بعيدة المدى. الأثر البشري على تأثير غاز الدفيئة هو أمر حقيقي، تم قياسه والكشف عن وجوده. والمعدل الذي يتزايد به تأثير غاز الدفيئة يعادل خمسة أضعاف ما كان عليه الحال في القرن الفائت (هانسن وآخرين 1998).

تأثير غاز الدفيئة والإحترار الكوني
Greenhouse Effect and Global Warming

يؤسس أولئك الذين يدعمون نظرية الإحترار الكوني إفتراضاتهم على تغيير البشر لمسار تأثير البيت الزجاجي الطبيعي، الذي يوفر الدفء اللازم للحياة. ويلقي هؤلاء باللوم على الأنشطة البشرية (حرق الوقود الأحفوري، وإزالة الغابات، واستخدام أنواع معينة من المواد الكيميائية ومن الهباء الجوي) كمسبب للكميات المتزايدة من غازات الدفيئة. وباعتقادهم أن هذه الغازات قد زادت من مقدار الحرارة المحتجزة في الغلاف الجوي للأرض، وزادت بذلك من درجة الحرارة في كامل الكرة الأرضية بالتدريج.

يشير العديد من العلماء (إعتماداً على ملاحظات حديثة أو قصيرة الأمد) أن العقد الأخير هو العقد الأكثر دفئاً منذ أن بدأ في تسجيل درجات الحرارة في نهايات القرن التاسع عشر، ويشيرون أيضاً إلى أن الارتفاع الأكثر عموميةً في القرن الفائت تزامن مع الثورة الصناعية، ومع ما صاحبها من زيادة في استخدام الوقود الإحفوري. وهناك أدلة أخرى تدعم نظرية الإحترار الكوني. فعلى سبيل المثال، نرى أدلة على تراجع الجليد والغطاء الثلجي في القطبين الشمالي والجنوبي، وهما المكانان اللذان يرتبط إسمهما بالثلج والجليد.

وبأخذ نظرة بعيدة المدى، ينظر العلماء إلى تغيرات درجة الحرارة على إمتداد آلاف أو حتى ملايين السنين. وفي هذه الحالة، لا يكون بمقدورهم، أن يظهروا بصورة قاطعة أن الإحترار الكوني يزيد عن كونه تغيراً قصير المدى في مناخ الأرض.

توضح السجلات التاريخية أن درجة حرارة الأرض تتباين بصورة كبيرة، وتبرد في العصر الجليدي ثم تزداد مرة أخرى بعد ذلك. وعلى الجانب الآخر من السجال، يشير البعض إلى أن ثمانينات القرن العشرين شهدت تسجيل تسع درجات من إثنتي عشرة درجة هي أكبر درجة حرارة تم تسجيلها على الإطلاق،

كما أن متوسط درجة حرارة السطح قد إرتفعت بما يقارب 0.6 درجة مئوية (1 درجة فهرنهايت) في القرن الماضي (EPA, 1995). إلا أنه في الوقت ذاته، يجادل آخرون أن ذات العقد شهد ثلاثاً من أقل درجات الحرارة المسجلة فيه، وهي للأعوام: 1984، و1985، و1986. إذاً ما الذي يحدث في الحقيقة؟ لسنا على يقين. لكن دعونا نفترض أننا نمر بإحترار عالمي طويل الأمد. وإذا كان الأمر كذلك، فإننا يجب أن نحدد ما يتسبب به. ولكننا نواجه مشكلة هنا. ليس العلماء على يقين من مسببات الإحترار الكوني. إذ قد يكون هذا الإحترار، ببساطة، جزءاً من نزعة إحترار طويلة الأمد بدأت منذ العصر الجليدي. وبالرغم من أن المعرفة قد توسعت كثيراً في القرنين الماضيين، إلا أننا لا نعرف سوى النذر اليسير عن مسببات الإحترار والابتراد الكونيين اللذان تسببا في إحداث تعاقب من العصور الجليدية الكبيرة والصغيرة. ونحن ببساطة لا نمتلك البيانات التي جمعت على إمتداد فترات بالغة الطول لكي تدعم نظرياتنا.

العوامل ذات الصلة بالإحترار/التبريد الكوني

Factors Involved with Global Warming/ Cooling

في الوقت الحالي، يمكن للعلماء أن يشيروا إلى ستة عوامل قد تكون ذات صلة بالإحترار والابتراد الكوني.

1. يمكن للإحترار والابتراد الكونيين طويلي المدى أن ينتجا من التغيرات في موضع الأرض بالنسبة للشمس (تدور الأرض حول الشمس)، وتتزايد درجات الحرارة عندما تقترب الأرض من الشمس، وتتناقص عندما يبتعدان عن بعضهما البعض.
2. يمكن للإحترار الابتراد الكونيين طويلي المدى أن ينتجا من الكوارث الكبيرة (الإصطدام بالمذنبات والإنفجارات البركانية الهائلة) التي تقذف بالملوثات التي يمكنها أن تحجب الإشعاع الشمسي إلى الغلاف الجوي.

3. يمكن للإحترار والابتراد الكونيين طويلي المدى أن ينتجا من التغيرات في الوضاءة (إنعكاسية سطح الأرض) الكثير. فإذا إذا كان سطح الأرض أكثر مقدرةً على عكس الأشعة، على سبيل المثال، فإن زيادة مقدار الإشعاع الشمسي المبثوث مرةً أخرى إلى الفضاء بدلاً من امتصاصه، سوف تنقص من درجة الحرارة على الأرض.
4. يمكن للإحترار والابتراد الكونيين طويلي المدى أن ينتجا من التغيرات في مقدار الأشعة التي تبثها الشمس.
5. يمكن للإحترار والابتراد الكونيين طويلي المدى أن ينتجا من التغير في أشكال اليابسة والمحيطات ومن التغير في العلاقة بينهما.
6. يمكن للإحترار الابتراد الكونيين طويلي المدى أن ينتجان من التغيرات في تكوين الغلاف الجوي.

" إذا تغير تكوين الغلاف الجوي"-هذه الإمكانية ترتبط مباشرة، بالطبع، بالأمر الذي يعنينا في الوقت الحالي: هل كان للأنشطة البشرية تأثير تراكمي كبير بما فيه الكفاية لكي يؤثر على درجة الحرارة الكلية وعلى مناخ الأرض؟ نحن، إلى درجة ما، معنيون ومنتبهون إلى هذه المشكلة، إلى أننا لسنا على يقين. لذلك يظل السؤال هو، ماذا نفعل بخصوص الإحترار الكوني؟

كيف يمكن قياس الإحترار الكوني؟
How is Climate Change Measured?

على امتداد العالم، يحاول العلماء أن يرسوا طرقاً لقياس حدوث الإحترار الكوني الذي تتسبب به غازات الدفيئة من عدمه. يبحث العلماء في الوقت الحالي عن علامات تدعى جميعها ب"إمضاءات" الدفيئة أو "بصماتها". وإذا كانت هذه موجودة فسوف تصبح جلية للجميع- إلا أن ما نريد هو إنذار واضح مبكر. لذلك، يحاول العلماء في الوقت الحالي تجميع أدلة كافية ومن ثم فك شفرتها

من أجل الحصول على هذه العلامات وعلى إنذار مبكر جلي. وبحسب فرانك (Frank) وبراونستون (Brownstone)، يعتقد أن هذه العلامات تشمل في الوقت الحالي تغيرات في:

- أنماط درجات الحرارة الكونية، إذ تصبح القارات أسخن من المحيطات؛ تسخن اليابسة قرب القطب الشمالي بدرجة تفوق تلك الموجودة قرب خط الإستواء؛ ويسخن الجزء الأسفل من الغلاف الجوي، بينما يصبح الجزء الأعلى من طبقة الستراتوفير أبرد.
- بخار الماء الجوي، مع تبخر كميات متزايدة من الهواء إلى الغلاف الجوي نتيجة لحدوث الإحترار بدرجة أكبر في المناطق الإستوائية مقارنةً بالارتفاعات الأعلى. ولأن بخار الماء هو من غازات الدفيئة فإن من شأنه أن يزيد من حدة عملية الإحترار.
- درجة حرارة سطح البحر، مع التزايد المنتظم في درجة حرارة أسطح المحيطات والزيادة في فروقات درجة الحرارة بين المحيطات حول العالم.
- التغيرات الموسمية (Seasonality)، مع التغيرات في الشدة النسبية للفصول، إذ تكون آثار الإحترار أكثر بروزاً خلال فصل الشتاء وفي الارتفاعات العالية. (1992، 143).

و بطريقة علمية موزونة تعطي هذه العلامات صورة عامة عن بعض التغييرات التي يتوقع حدوثها مع الإحترار الكوني. مع ذلك لاحظ أنه من وجهة نظر الحياة على الأرض، فإن التغييرات الناتجة من الإحترار الكوني طويل الأمد سوف تكون قاسيةً وجدية بصورة عميقة. وعلى الأرجح، سوف يكون التغيير ذو المدى الأبعد والأكثر دراماتيكية هو ارتفاع مستوى البحار.

الإحترار الكوني وارتفاع مستوى البحر
Global warming and Sea-Level Rise

في العقود الماضية، أطلقت الأنشطة البشرية (حرق الوقود الأحفوري، تسوية الغابات، وإنتاج المواد الكيميائية الصناعية مثل كلورات فلورات الكربون) كميات هائلة من ثاني أوكسيد الكربون وغازات الدفيئة الأخرى إلى الغلاف الجوي. تدفئ هذه الغازات الأرض كما هو مدروس بمعدل غير مسبوق. وإذا إستمرت النزعة الحالية، فإنه من المتوقع أن ترفع هذه الكميات من متوسط درجة الحرارة بما لا يقل عن 1.5 إلى 4.5 درجة مئوية (أو أكثر) في القرن القادم–بحيث ترتفع درجة الحرارة في القطبين بدرجة تفوق بضعفين أو ثلاثة أضعاف ارتفاع درجة الحرارة في الارتفاعات المتوسطة (وايجلي، وجونز، وكيلي 1986).

إذا إفترضنا أنه لا مفر من الإحترار الكوني و/أو أنه قد حدث سلفاً، إذاً ما الذي ينبغي علينا أن نفعله؟ فليس لدينا طريقة أو تقنية فعالة تسمح لنا بمغادرة الأرض، كما ليس لدينا مكان ملائم نذهب اليه حتى لو حاولنا. فإذا كان هذا ما عليه الأمر، فإن فهم ديناميكيات التغيرات التي تنشأ حولنا وإتخاذ أي من الأفعال المناسبة التي يمكننا إتخاذها لتخفيف وطأة الوضع يبدو أمراً معقولاً، بل لابد منه.

كما يجب أن نتبع هذه المقاربة وهذا الأسلوب بسبب أثر الإحترار الكوني على مستوى سطح البحر لأن مستويات البحار في ارتفاع في الوقت الحالي، وسوف يصاحب هذا الارتفاع الدمار التي تسببه العواصف، والتلوث، وتجريف الأراضي الساحلية.

ضع في إعتبارك المعلومات الآتية المأخوذة من تقرير EPA في العام 1995، حول إحتمالية ارتفاع مستوى البحر.

1. من المرجح أن ترتفع مستويات البحر بما يعادل 15 سم بحلول العام 2050 وما يعادل 34 سم بحلول العام 2100.
2. وهناك إحتمالية تبلغ 10% أن التغير المناخي سوف يساهم بمقدار 30 سم بحلول العام 2050 و65 سم بحلول العام 2100. ولا تشمل هذه التقديرات بارتفاع مستوى البحر الذي تتسبب به العوامل الأخرى غير تأثير غاز الدفيئة.و هناك إحتمالية تبلغ 1% أن الإحترار الكوني سوف يرفع مستوى سطح البحر بمقدار متر واحد في المائة عام القادمة وبمقدار 4 أمتار في المائتين عام القادمة. وبحلول العام 2200، سوف يكون هناك إحتمالية تبلغ 10% في مساهمة الإحترار الكوني في رفع مستوى البحر بمقدار مترين. ويمكن لزيادة ضخمة مثل هذه أن تحدث إما بارتفاع درجة حرارة القطب الجنوبي بمقدار خمس درجات مئوية وإستجابة التيارات الثلجية في القطب الجنوبي بصورة تفوق توقعات غالبية أخصائي المجالد (Glaciers)، أو بارتفاع درجة حرارة غرينلاند بما يفوق العشر درجات مئوية. وكلا هذين الإحتمالين غير مرجح الحدوث.
3. من المرجح أن يزيد التغير المناخي من معدل ارتفاع مستوى البحار بحلول العام 2100 بمعدل يبلغ 4.1 مم/السنة. هنالك أيضاً فرصة تتراوح ما بين 1 إلى 10 أن هذه المساهمة سوف تفوق 10 مم/السنة، كذلك هناك فرصة تتراوح ما بين 1 إلى 10 أن التغيير سوف يقل عن معدل 1 مم/السنة.
4. من المرجح أن ينقص "تحديد" الانبعاثات الكونية بحلول العام 2050 من معدل ارتفاع مستوى البحر بما يعادل 28%، مقارنة بما يمكن أن تكون عليه لو يتم هذا التحديد. وتفترض هذه الحسابات أننا لسنا على يقين من المسار المستقبلي لانبعاثات غازات الدفيئة.

5. يمكن لتحديد الانبعاثات بحلول العام 2025 أن ينقص معدل ارتفاع مستوى البحر بمقدار النصف. وإذا حدث نمو في المعدل الكوني للانبعاثات في القرن القادم، فمن المرجح أن يرتفع مستوى سطح البحر إلى 6.2 مم/العام بحلول العام 2011*؛ غير أن تجميد المعدل بحلول العام 2025 من شأنه أن ينقص من المعدل النهائي لمستوى البحر بمقدار الثلث.

6. و على إمتداد معظم المحيطات، سوف تتسبب عوامل أخرى غير التغير المناخي الذي يتسبب فيه البشر في التسبب برفع مستويات البحار بمستوى يفوق ما كان سيكون عليه الحال لو كان هذا الارتفاع ناتجاً من التغير المناخي لوحده. تشمل هذه العوامل الأخرى الضغط وإنحسار الأرض، ونضوب المياه الجوفية، والتغيرات الطبيعية في المناخ. إذا لم تتغير هذه العوامل، فمن المرجح أن يرتفع المستوى الكوني للبحر بمقدار 45 سم بحلول العام 2100، وهناك فرصة تبلغ 1% أن يبلغ مقدار هذا الارتفاع 112 سم. وعلى إمتداد ساحل نيويورك، الذي يمثل معياراً لمستوى سطح البحر في الولايات المتحدة، يرجح ارتفاع مستوى البحر بمقدار 26 سم بحلول العام 2050 وبمقدار 55 سم بحلول العام 2100. وهنالك أيضاً فرصة تبلغ 1% لحدوث ارتفاع بمقدار 55 سم بحلول العام 2050 وبمقدار 120 سم بحلول العام 2100.

إضافة إلى النتائج أعلاه والتي توصلت إليها وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة الأمريكية، تشير الأدلة الأخرى إلى أن المتوسط الكوني لمستوى سطح البحر ظل على ارتفاع في المائة العام الأخيرة. وبحسب بروكر (Broecker) (1987)، يمكن تبين هذه الأدلة من

* نشرت الطبعة الثانية لهذا الكتاب في عام 2006 (المترجم)

سجلات قياسات المد، وجرف 70% من السواحل الرملية في عموم العالم و90% من السواحل الرملية لأمريكا، وذوبان وتراجع المجالد الجبلية. يشير إدغرتون (Edgerton) (1991) إلى أن الترابط بين منحنيي الارتفاع الكوني في درجة الحرارة ومستويات البحار المتزايدة خلال القرن الفائت لا يبدو محض صدفة.

هناك الكثير من عدم اليقين بخصوص الارتفاع المستقبلي لمستوى سطح البحر. كما يعقد عدم فهمنا للآليات التي تساهم في الارتفاع الحديث نسبياً لمستوى البحر من المشكلة. إضافةً إلى ما سبق، تؤثر التوقعات المختلفة لإحترار المناخ على التقديرات بصورة دراماتيكية. ووسط كل هذا الكم من عدم اليقين، هناك شيئ واحد مؤكد. وهو أن تقديرات ارتفاع مستوى البحر سوف تراجع وتحدث بصورة متواصلة مع مرور الزمن ومع تجميع المزيد من المعلومات.

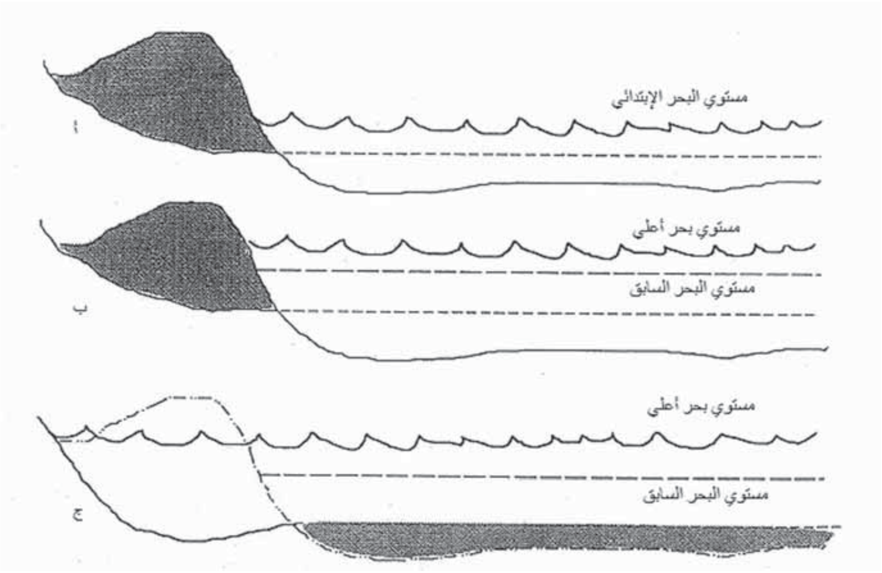
الآثار الفيزيائية الرئيسية لارتفاع مستوى البحر

Major Physical Effects of Sea-Level Rise

مع ارتفاع درجات الحرارة في كل أنحاء العالم، سيرتفع مستوى البحار بطريقة غير مسبوقة في التاريخ البشري (إدغرتون 1991). وسوف تصاحب التغيرات في درجة الحرارة والتغيرات في مستويات البحار بتغيرات في مستويات الملوحة. على سبيل المثال، يتأثر مستودع المياه العذبة الساحلي بعاملين: الضخ ومستوى البحر. ففي عملية الضخ، وإذا ما زاد معدل السحب عن معدل إعادة الشحن، فإن مستوى المياه الجوفية سوف يتناقص وسوف تتسرب المياه المالحة إلى اليابسة. وبالنسبة لمتوسط مستوى البحر، تحدث مشكلة إذا ما ارتفع مستوى سطح البحر وتحرك الخط الساحلي إلى اليابسة، منقصاً بذلك من مساحة مكمن المياه الجوفية. وتتمثل المشاكل الأخرى التي يمكن أن

تحدث نتيجةً للتغيرات في درجة الحرارة ومستوى سطح البحر في الفيضانات الناتجة من حركة المدِّ، والتيارات المحيطية، والعمليات الأحيائية للمخلوقات البحرية، وأنساق الجريان السطحي وتجريف الكتل الأرضية، وطغيان المياه المالحة.

لفهم أهمية هذا الأمر، إلقي نظرة على "الصورة" الموجودة في الشكل 2.13. يمكنك أن ترى بسهولة واحداً من أهم الآثار الفيزيائية المباشرة لارتفاع مستوى سطح البحر على نظام الشواطئ الساحلية. إذ يتسبب المعدل الحالي لارتفاع مستوى البحر بمقدار 1 إلى 2 مم/سنة بحدوث تجريف ساحلي كبير. ويساهم عاملان رئيسيان في حدوث هذا التجريف الساحلي. أولاً، تعزز المياه الساحلية العميقة من عملية إنتاج الموجات، وتزيد بذلك من مقدرتها على إجتياز حواجز المدِّ التي تعترض طريقها. ثانياً، سوف تحاول الخطوط الساحلية والمحيطات أن ترسي وضع إتزان جديد بحسب ما يعرف بقاعدة برون (Bruun)؛ سوف تشمل هذه التعديلات تراجع الخط الساحلي ونقص إنحدار (أو ميل) الساحل (برون 1962؛ 1982). يوضح الشكل 2.13 كيفية عمل هذه القاعدة.



الشكل 2.13 قاعدة برن: (أ) الظروف الإبتدائية؛ (ب) الفيضان اللحظي حينما يرتفع مستوى البحر، (ج) التجريف اللاحق والناتج من ارتفاع مستوى البحر. يتسبب ارتفاع مستوى البحر في تراجع خط الساحل بسبب الفيضان بصورة لحظية. يعنى ارتفاع 1 متر في مستوى مياه البحر ارتفاعاً مقداره 1 متر في القاع الساحلي. سوف تتسبب الأمواج في تجريف الجزء الأعلى من الساحل (كما هو موضح في الجزء ج). مأخوذ من بارث وتيتس (1984)

الآثار الرئيسية لارتفاع مستوى البحر على البشر
Major Direct Human Effects on Sea-Level Rise

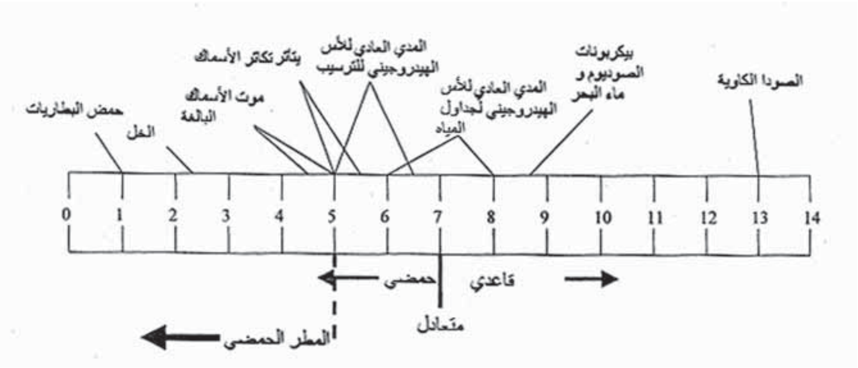
تلقي الآثار الفيزيائية لارتفاع مستوى سطح البحر، بطريقة أو بأخرى، وبصورة مباشرة أو غير مباشرة، بتبعات مباشرة على البشر، خصوصاً فيما يتعلق بالمستوطنات البشرية والبنية التحتية المرافقة لها: الطرق السريعة، والمسارات المائية، وإمدادات المياه، ومرافق معالجة مياه الصرف الصحي، ومكبات النفايات، ومناطق تخزين النفايات الخطرة، والجسور، وأنظمة الصيانة المتعلقة بها. كما يمكن لارتفاع مستوى سطح البحر أن يتسبب في طغيان المياه المالحة على إمدادات المياه الجوفية (إدغرتون 1991).

وتعني الإشارة إلى أن البنى التحتية سوف توضع تحت ضغط مهول بسبب ارتفاع مستوى سطح البحر وما يرافقه من تغير مناخي والتبعات المحتملة. وفي الحقيقة، فإن التأثير الواقع على البنية التحتية ما هو إلا جزء من التأثير الواقع على البشر. على سبيل المثال، هناك إتفاق بين العلماء على نطاق واسع أن أي تغيير كبير في المناخ الكوني ينتج من التسخين أو التبريد سوف يحدث خللاً في إنتاج الغذاء الكوني لعدة سنوات قادمة، الشيء الذي سوف يقود لحدوث زيادة حادة في أسعار الغذاء، ويتسبب في حدوث ضرر بالغ على الإقتصاد.

و ما هو مستوى الزيادة في مستوى البحر الذي نتكلم عنه بالتحديد؟ بحسب وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة،" إذا كان الخبراء الذين إعتمدنا عليهم ممثلين للمدى الأوسع من الآراء العلمية فإن هناك إحتمالاً يبلغ 50 في المائة أن غازات الدفيئة سوف ترفع مستوى البحر بمقدار 15 سم بحلول العام 2050 ، وبمقدار 25 سم بحلول العام 2100، وبمقدار 80 سم بحلول العام 2200 على أقل تقدير" (1995، 123).

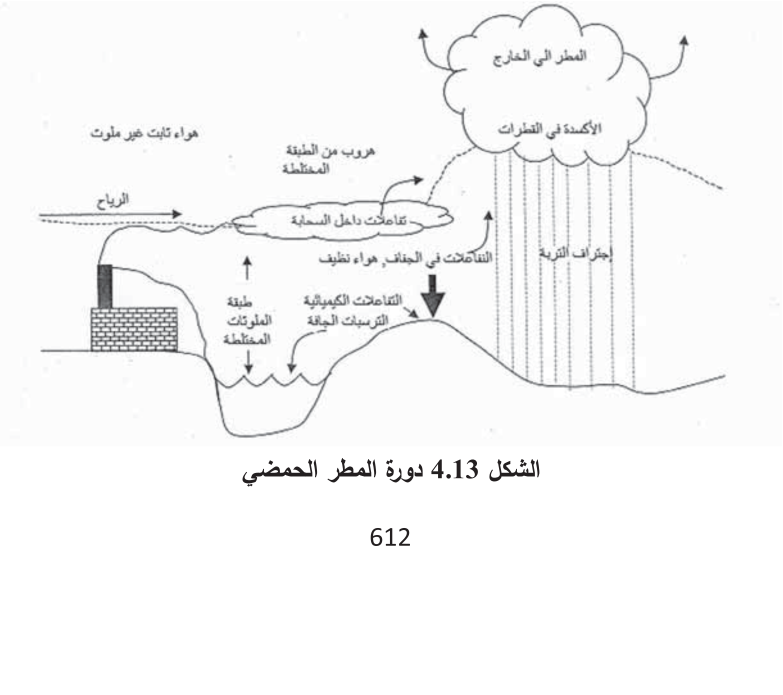
الترسيب الحمضي
Acid Precipitation

في الأمسيات، حينما تقف في شرفتك أثناء هطول أمطار خفيفة وتلقي بطرفك إلي باحتك المسيجة وتلك الحدائق المزدهرة من النباتات المعمرة، فإنك على الأرجح سوف تحس بسكينة وطمأنينة تستعصي على الوصف، إلا أنه لا يصعب تقبلها. سوف يهدئ صوت قطرات المياه المرتطمة بسقف المنزل وبالشرفة، وبالنباتات وبالسياج، وبالمشي الجانبي، وبالشارع؛ والرياح اللطيفة التي تدغدغ أغصان النباتات المعمرة، نفسك. وأياً كان السبب الذي يجعلك تحس بالسكينة، فإن هطول الأمطار سبب رئيسي فيه.



الشكل 3.13 قياس النشاط: مقياس الأس الهيدروجيني

إلا أن شخصاً آخر له بعض المعرفة أو التدريب في حقل العلم البيئي قد تكون له نظرة مختلفة لهذا الحدث الذي يبدو مرحباً به وجالباً للسكينة. وقد نتساءل نحن أيضاً عما إذا كانت مياه الأمطار نظيفة ونقية كما ينبغي. وهل هذه في الواقع مياه أمطار، أم هي أمطار تحمل معها أحماضاً تماثل في قوتها حمضية عصير الليمون والخل، لها المقدرة على الحاق الأضرار بالأشياء الحية وغير الحية مثل الأشجار، والبحيرات، والبنيات التي صنعها البشر؟ قد يبدو هذا الأمر غريباً لبعض الأشخاص الذين قد يتساءلون عن السبب الذي قد يدفع شخصاً ما لأن يشغل نفسه بقضية غريبة كهذه.



الشكل 4.13 دورة المطر الحمضي

قد تكون هذه القضية غريبة في عصر ما قبل الثورة الصناعية، إلا أنه في يومنا هذا فإن نقاء مياه الأمطار، وبالأخص مستويات الحموضة فيها، هي مثار قلق كبير لمعظم الناس. معظم مياه الأمطار فيها حمضية خفيفة بسبب المادة العضوية المتحللة، وحركة البحار، والانبعاثات البركانية، إلا أن العامل الرئيسي هو ثاني أوكسيد الكربون في الغلاف الجوي، والذي يتسبب في تكوين حمض الكربونيك. يتكون المطر الحمضي (الذي يبلغ أسه الهيدروجيني < 5.6) (في سياق التلوث) بتحويل الملوثات الأولية مثل ثاني أوكسيد الكبريت وأكاسيد النتروجين إلى حمضي الكبريتيك والنتريك بالترتيب (إنظر الشكل 3.13، لشرح الأس الهيدروجيني). هذه العمليات معقدة، وتعتمد على عمليات الإنتشار الفيزيائية وعلى معدلات التحولات الكيميائية. ويوضح الشكل 4.13 أجزاء هذه الدورة الأساسية.

وبعكس الإعتقاد الشائع، ليس المطر الحمضي بالظاهرة الجديدة، كما أنه لا يحدث بسبب التلوث الصناعي وحسب. تنتج العمليات الطبيعية مثل الانبعاثات البركانية وحرائق الغابات مكونات الأحماض وتبثها إلى الهواء. كما يساهم حرق الغابات من أجل تنظيف الأراضي في البرازيل، وإفريقيا، والدول الأخرى بدوره في المطر الحمضي. إلا أن التزايد في الصناعة الذي بدأ مع الثورة الصناعية يقوم بصورة حرفية من كل المساهمات الأخرى في هذه المشكلة.

والمتهم الرئيسي هو إنبعاثات ثاني أوكسيد الكربون من حرق الوقود الأحفوري، مثل النفط والفحم، وأوكسيد النتروجين الذي يتكون بصورة أساسية من إنبعاثات مكينات الإحتراق الداخلي التي تتحول بسهولة إلى ثاني أوكسيد النتروجين.

وتمتزج هذه الأكاسيد في الغلاف الجوي لكي تكون حمضي الكبريت والنتريك.

وفي شأن التعامل مع الترسيب الحمضي الناتج من الغلاف الجوي، لا يقف النظام البيئي للأرض مكتوف اليدين بصورة كاملة؛ إذ يمكنه أن يعالج مقداراً معيناً من الأحماض بواسطة المواد القاعدية في التربة أو الصخور والتي تعمل

على معادلة الأحماض. وتتميز مناطق الغرب الأوسط في الولايات المتحدة الأمريكية وجنوبي إنجلترا بتربة ذات قاعدية مرتفعة (الأحجار الجيرية والأحجار الرملية) توفر بعض الموازنة الطبيعية. إلا أن المناطق ذات التربة الرقيقة وتلك المناطق التي تقع على صخور غرانيتية تعوزها القدرة على معادلة المطر الحمضي.

يواصل العلماء دراسة الكيفية التي يدمر أو يقتل بها المطر الحمضي الكائنات الحية. وبهذه العملية المعقدة عدة متغيرات. ونحن نعلم من الحالات المتعددة للأمطار الحمضية أن بمقدور التلوث أن ينتقل لمسافات طويلة. وتحس البحيرات في كندا، ومين، ونيويورك بتأثيرات حرق الفحم في وادي أوهايو. لهذا السبب ولغيره، تجرى معظم الدراسات العلمية في موضوع المطر الحمضي في بحيرات العالم المختلفة. وفي هذه البحيرات، عادة ما تنفق الكائنات الحية الصغيرة أولاً، ويتسبب ذلك في موت الحيوانات الأكبر بسبب الجوع. وفي بعض الأحيان تقتل الكائنات الحية الأكبر (الأسماك) بصورة مباشرة؛ ومع زيادة حموضة مياه البحيرة، تذاب المعادن الثقيلة، متسببة في رفع تركيزها إلى مستويات سامة وعادة تكون قاتلة. يتسبب نفوق الكائنات الحية في البحيرات الإخلال بنظام الحياة على الأرض وفي الهواء المحيط بها.

وصلت درجة حموضة مياه الأمطار في بعض أجزاء الولايات المتحدة الأمريكية إلى درجة تقل بكثير عن 5.6. ففي الشمال الشرقي على سبيل المثال، يبلغ متوسط الأس الهيدروجيني لمياه الأمطار 4.6، كما أن هطول أمطار تبلغ درجة حموضتها 4.0 درجة، أي تفوق حمضيتها حموضة الماء المنقى بمائة مرة، ليس بالأمر النادر (إنظر الشكل 5.13).

وبالرغم من الأبحاث المكثفة حول المناحي المختلفة للمطر الحمضي، إلا أن العلماء ما زالوا على اختلاف وعدم يقين، في بعض الأحيان، بشأن بعض

أجزاء هذه القضية. وهذا هو السبب الذي يدفع الدول المتقدمة، والتقدمية للتأكيد على أهمية إستمرار إجراء الأبحاث على موضوع المطر الحمضي.

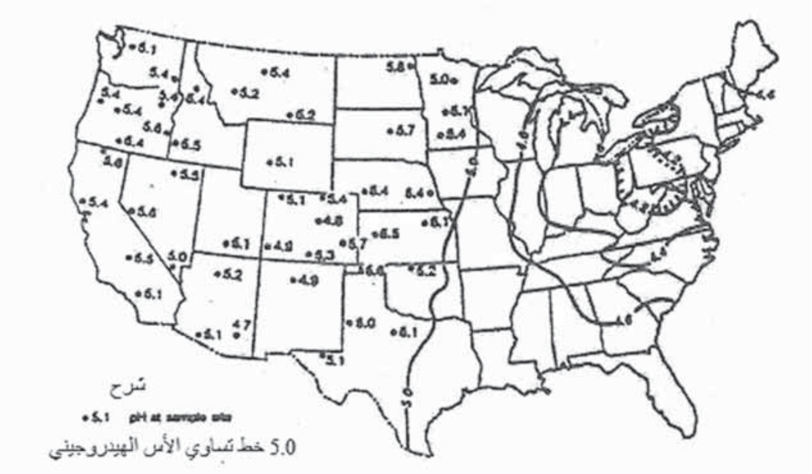
الضبخان الكيميائي الضوئي
Photochemical Smog

حينما تجتمع عدة هايدروكربونات، وأكاسيد النتروجين، وضوء الشمس سوية، فإن بمقدور هذه العوامل أن تبتدر مجموعة معقدة من التفاعلات التي تنتج عدداً من الملوثات الثانوية التي تعرف بالمؤكسدات الكيميائية الضوئية أو الضبخان الكيميائي الضوئي. الضبخان الكيميائي الضوئي (الذي تمت مناقشته في الفصل الحادي عشر) من النوع الذي يعرفه الكثير من الناس، تمت ملاحظته لأول مرة في لوس أنجلوس في أوائل أربعينيات القرن العشرين. إلا أن تحديد السبب والمسبب في ذلك إستغرق عدداً من السنين. وقد كان الاعتقاد، بحسب بلاك-كوفيلي (1992, Black-Covilli)، في بادئ الأمر أن هذا الضبخان هو نتيجة الغبار والدخان المنبعث من المصانع والمرمدات. وعلى هذا الأساس، أصدر مسؤولوا المحافظة حينها حظراً على حرق القمامة خارج المنازل وأبتدروا خطوات للتحكم في إنبعاثات الدخان من المصانع.إلا أنه بعد إنقضاء وقت ليس بالطويل، توصلت سلطات المدينة إلى أن مجهوداتهم الإبتدائية لم تكن بذات جدوى؛ إذ إن الضبخان لم يتأثر. بعد ذلك لاحقت السلطات متهماً آخر هو ثاني أوكسيد الكبريت (SO_2) المنبعث من مصافي النفط ومن إحتراق الفحم الحامل للكبريت. لذلك وضعت السلطات قيوداً على إنبعاثات ثاني أوكسيد الكبريت، لكن لم تسفر هذه المجهودات هي الأخرى، عن شيئ.

إكتشف عالم الكيميائية الحيوية آري هاغان-سميت (Arie Haagen – Smit)، بمحض الصدفة، أثناء إجرائه لأبحاث موجهة للكشف عن المركبات المسؤولة عن المذاق والطعم المبهجين للفاكهة، السبب وراء مشكلة الضبخان،

الشيء الذي أوضح بصورة قاطعة أن محركات الإحتراق الداخلي هي المصدر الرئيسي.

كيف تنتج محركات الإحتراق الداخلي الضبخان؟ ما زالت بعض التفاصيل الدقيقة غير معروفة، إلا أن التالي، بصورة مبسطة، هو ما يبدو أنه يحدث. يبدأ الضبخان بدرجات الحرارة العالية في محركات الإحتراق الداخلي، التي تتسبب في مفاعلة الأوكسجين والنتروجين لإنتاج أول أكسيد النتروجين ($N_2 + O_2 \rightarrow 2\ NO$). وفي الوقت ذاته، تفشل كميات متباينة من الوقود في الإحتراق في المحرك بصورة كاملة. وينتج عن هذا الأمر خليط من الألدهيدات، والكيتونات، والأوليفينات، والهايدروكربونات الأروماتية التي تخرج في دخان العادم.



الشكل 5.13. مخطط ترسب المطر الحمضي في الولايات المتحدة

المسح الجيولوجي للولايات المتحدة. وزارة الداخلية في الولايات المتحدة. صحيفة حقائق الماء، 1987.

يدخل دخان العادم هذا إلى الغلاف الجوي، حيث تتسبب الإشعة فوق البنفسجية الصادرة من الشمس في حدوث سلسلة من التفاعلات. تشمل هذه التفاعلات الأوكسجين الجوي، وأول أوكسيد النتروجين، والمركبات العضوية.

ونتيجة ذلك، يتكون ثاني أوكسيد النتروجين (NO_2) والأوزون (O_3) وكلا هذين الغازين شديد السمية ومهيج. وإضافة إلى ما سبق، يتسبب هذا التفاعل في تكون المكونات الأخرى للضبخان الكيميائي الضوئي، التي تشمل الفورمالدهيد، ونترات البيروكسي بنزول، ونترات البيروكسي أستيل، والأكرولين. من المعروف أن الضبخان الكيميائي الضوئي يتسبب في عدد من المشاكل التنفسية المزعجة، السعال، وضيق التنفس، وتقلص المجاري الهوائية، والصداع، وإنقباض الصدر؛ وتهيج العين والأنف، والحلق (ماسترز 1991).

نضوب الأوزون في طبقة الستراتوسفير
Stratospheric Ozone Depletion

يتكون الأوزون (الذي تمت مناقشته في الفصل الحادي عشر) في طبقة الستراتوسفير بفعل الإشعاع الشمسي، كما يساعد في حماية الأرض من بعض الأشعة فوق البنفسجية التي يمكن أن تكون مضرة.

في بدايات سبعينيات القرن العشرين، شك العلماء في أن طبقة الأوزون تتعرض للنفاد. وبحلول ثمانينات القرن الفائت بدا من الجلي أن طبقة الأوزون بدأت تضعف في بعض المواضع، وفي بعض الأحيان بدأت بعض الثقوب في الظهور فيها بصورة موسمية، خصوصاً فوق القطب الجنوبي. ولا تعرف على وجه التحديد الأسباب الموجبة والمقدار الحقيقي لنضوب الأوزون، إلا أن معظم العلماء يعتقدون أن المواد الكيميائية المختلفة الموجودة في الهواء مسؤولة عن هذا الظاهرة.

يعتقد معظم العلماء أن عائلةً من المركبات المكلورة، وأهمها كلورات فلورات الكربون والمذيبات المكلورة (رباعي كلوريد الكربون وميثيل الكلوروفورم) هي المتهم الرئيسي في نضوب الأوزون. وفي العام 1974 طرح الكونين مولينا (Molina) ورولاند (Rowland) فرضية مفادها أن مركبات كلورات فلورات الكربون (CFCs)، والتي تحتوي على الكربون، مسؤولة عن نضوب الأوزون.

أشار هذان العالمان إلى أن مركبات الكلور فيها طاقة عالية كما أن لها المقدرة على تفكيك الأوزون الذي يتكون من ثلاث ذرات بسرعة وبصورة مستمرة إلى هيئة الأوكسجين الجزيئي التي تتكون من ذرتين والتي توجد، بصورة عامة، بالقرب من الأرض وفي الجزء الأسفل من الغلاف الجوي.

تقدر اللجنة المستقلة للعلوم الجوية (ICAS)* (1975) أن تخفيف طبقة الأوزون بمقدار 5% سوف يزيد من حدوث السرطانات بنسبة 10%. هذا السيناريو المرعب في حد ذاته إزداد إرعاباً في العام 1987 حينما أظهرت الأدلة أن كلورات فلورات الكربون تدمر الأوزون الموجود في طبقة الستراسوفير الموجودة أعلى القطب الجنوبي عند حلول الربيع. توسع ثقب الأوزون، إذ تمت إزالة ما يزيد نصف عمود الأوزون الكلي، كما أن الأوزون إختفى تماماً من بعض المناطق في الستراتوسفير (ديفز وكرونول 1991).

في العالم 1988 ذكر تقرير زورير أنه وعلى مستوى العالم، إنكمشت طبقة الأوزون بما يقارب 2.5% في العقد السابق. يعتقد أيضاً أن هذا الإضعاف الجلي لطبقة الاوزون، الذي يزيد من احتمالية الإصابات بسرطان الجلد وبإعتام عدسة العين، قد يكون ذا صلة بتثبيط الجهاز المناعي للبشر وإلحاق الضرر بالحيوانات الأخرى وبالنباتات، خصوصاً الحياة المائية ومحاصيل فول الصويا.

أدت درجة إلحاح هذه المشكلة الى التوقيع على بروتوكول مونتريال من قبل 24 دولة. فرض هذا البروتوكول على الدول الموقعة عليه أن تخفض من إستهلاكها لكلورات فلورات الكربون بمقدار 20% بحلول العام 1993، وبمقدار 50% بحلول العام 1998، ممثلاً بذلك إنجازاً عظيماً تجاه حل مشكلة بيئية عالمية.

* ICAS = interdependent Committee for Atmospheric Sciences

ملخص الفصل

عادة ما يتفاعل الناس مع الأنباء التي يصعب التعامل معها بصورة عاطفية، وبطريقة غير عقلانية، وأخبار الكوارث البيئية وشيكة الحدوث ليست إستثناءاً في هذا الصدد. وتشمل أنماط التفاعل مع هذه الأخبار مدىً واسعاً من الأحوال تتراوح ما بين الإنكار والهيستيريا، إلى اللا مبالاة، إلى الهوس، والغضب، أو إلى الإنخراط في عمل ناشط، أو إلى التهور، ولا تعمل ردود الأفعال المذكورة في هذا الموضع – ولا ممن يقف وراءها– في تقريبنا من الوصول إلى حل.

وبحلول الوقت الذي تفرغ فيه أنظمتنا السياسية والمجتمعية من فهم المعلومات التي يوفرها العلماء لنا، يصبح تقييم العامة لهذه المعلومات بما يقارب الطريقة العلمية أمراً مستحيلاً، لأن المعلومات التي تتلقاها العامة في هذه الظروف هي معلومات مشوهة وغير دقيقة، ومبتورة ومحرفة بحيث لا تصلح للاستخدام العملي الفعلي. ولأن الكثير من هذه المعلومات وضعت لتتناسب آراء المسيطرين على السلطة، والمصالح المادية للملاك.

وهناك مقدار ضئيل من الشك في أننا نضع بيئتنا–و بالتالي أنفسنا– في خطر جدي. وفي حين أننا لا نكون متأكدين (بعد) في بعض الأحيان من السبب الحقيقي –أو من كل الأسباب– إلا أن التغيرات التي نلاحظها في عالمنا هي أضرار يمكن قياسها. وكأعضاء فاعلين في الإقتصاد الذي يخضع للعولمة بصورة متزايدة، فإننا نزيد من شدة المخاطر الواقعة علينا بتظاهرنا أن هذه المخاطر سوف تذهب بعيداً. ولكن، عاجلاً أم آجلاً سوف نضطر لمواجهة هذه المشاكل–و سوف توفر التقنية طريق الحل.

أسئلة مناقشة ومشكلات

Discussion Questions and Problems

1. ما هو سبب الصعوبة البالغة في إخضاع الضبخان الكيميائي الضوئي للقوانين المنظمة؟ إشرح.
2. تدفع بعض العوامل المخاوف من جودة الهواء في البيئة إلى الحلبة الكونية. ما هي بعض هذه المخاوف؟ إشرح.
3. ما هي العوامل الفريدة المسؤولة عن ثقب الأوزون فوق القطب الجنوبي؟
4. ما هو تأثير الترسيب الحمضي (إن وجد) على الغابات وعلى المحاصيل.
5. ما هي الآثار البيئية الكونية المحتملة المرتبطة بالإحترار الكوني؟

مواضيع أبحاث مقترحة ومشاريع

Suggested Research Topics and Projects

ثقب الأوزون (Ozone hole)

- نضوب/ثقب الأوزون وسرطان الجلد.
- نضوب/ثقب الأوزون – حالة الأبحاث والنظريات العلمية المتعلقة به.
- نضوب/ثقب الأوزون كموضوع مضخم من قبل وسائل الإعلام.
- نضوب/ثقب الأوزون والسياسة في الولايات المتحدة.
- نضوب/ثقب الأوزون والسياسة في العالم.
- نضوب/ثقب الأوزون والكلوروفلوروكربونات.

نضوب/ثقب الأوزون والتاريخ المناخي بعيد المدى.

الإحترار الكوني (Global warming)

- الإحترار الكوني– حالة الأبحاث والنظريات العلمية المتعلقة به.
- الإحترار الكوني كموضوع مضخم من قبل وسائل الإعلام.
- الإحترار الكوني والسياسة في الولايات المتحدة.

- الإحترار الكوني والسياسة في العالم.
- الإحترار الكوني والكلوروفلوروكربونات.

تأثير الدفيئة (Greenhouse effect)

- تأثير الدفيئة – حالة الأبحاث والنظريات العلمية المتعلقة به.
- تأثير الدفيئة كموضوع مضخم من قبل وسائل الإعلام.
- تأثير الدفيئة والسياسة في الولايات المتحدة.
- تأثير الدفيئة والسياسة في العالم.
- تأثير الدفيئة والكلوروفلورو كربونات.
- كيفية الترابط بين تأثير الدفيئة والإحترار الكوني.

المطر الحمضي/الضبخان الكيميائي الضوئي Acid rain/photochemical smog

- كيفية تأثير القوانين المنظمة على مستويات الضبخان الكيميائي الضوئي.
- أنساق أنتقال ملوثات الهواء.
- أنساق الإنتقال قصير المدى والإنتقال طويل المدى في الولايات المتحدة: استخدام السيارات و/أو وسائل النقل العمومية وجودة الهواء.
- فعالية قوانين المشاركة في السيارات في إنقاص الانبعاثات.
- حالة الأبحاث المتعلقة بتأثير الضبخان على الصحة.
- حالة الأبحاث المتعلقة بتأثير المطر الحمضي على الصحة.
- حالة الأبحاث المتعلقة بتأثير الضبخان على المحاصيل.
- حالة الأبحاث المتعلقة بتأثير الأمطار الحمضية على المحاصيل.

قاعدة برون

The Bruun rule

- قاعدة برون، وتأثير الدفيئة، والإحترار الكوني والصلة بينهما.

- قاعدة برون، وتأثير الدفيئة، والإحترار الكوني–المخاطر بعيدة المدى.
- الكيفية التي يوثر بها ارتفاع مستوى البحر على المناطق الساحلية في الولايات المتحدة.
- تاريخ ارتفاع مستوى سطح البحر.
- تأثير الارتفاع الكبير في مستوى سطح البحر على الإقتصاديات.
- تأثير الارتفاع الكبير في مستوى سطح البحر على التجارة.
- تأثير الارتفاع الكبير في مستوى سطح البحر على السياحة.
- تأثير الارتفاع الكبير في مستوى سطح البحر على الحياة البرية.
- تأثير الارتفاع الكبير في مستوى سطح البحر على الزراعة.
- تأثير الارتفاع الكبير في مستوى سطح البحر على المجتمعات المحلية.
- تأثير الارتفاع الكبير في مستوى سطح البحر على البنى التحتية.

الثورة الصناعية The industrial revolution

- الثورة الصناعية وجمعية الصبغات الريفية–التاريخ الإقتصادي.
- التاريخ المجتمعي.
- التاريخ السياسي.
- التاريخ البيئي.

المراجع المثبتة
Cited References

Black-Covilli, L. L. "Basic Air Quality." In *Fundamentals of Environmental Science and Technology*, ed. Porter-C. Knowles. Rockville, Md.: Government Institutes, Inc., 1992.

Broecker, W. "Unpleasant Surprises in the Greenhouse?" *Nature* 328 (1987): 123–26.

Bruun, P. "Sea Level Rise as a Cause of Shore Erosion." *Proceedings of the American Society of Engineers and Journal Waterways Harbors Division* 88 (1962): 117–30.

———. "Worldwide Impacts of Sea Level Rise on Shorelines." *Effects of Changes in Stratospheric Ozone and Global Climate, Vol. 4*, 99–128. New York: UNEP/EPA, 1986.

Crowley, T. J., and G. R. North. "Abrupt Climate Change and Extinction Events in Earth's History." *Science* 240 (1988): 996.

Davis, M. L., and D. A. Cornwell. *Introduction to Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill, 1991.

Edgerton, L. *The Rising Tide: Global Warming and World Sea Levels*. Washington, D.C.: Island Press, 1991.

EPA. *The Probability of Sea Level Rise*. Washington, D.C.: EPA, 1995.

Franck, I., and D. Brownstone. *The Green Encyclopedia*. New York: Prentice Hall, 1992.

Graedel, T. E., and P. J. Crutzen. "The Changing Atmosphere." *Scientific American* (September 1989): 58–68.

Hansen, J. E., et al. "Climate Sensitivity to Increasing Greenhouses Gases." In *Greenhouse Effect and Sea Level Rise: A Challenge for This Generation*, ed. M. C. Barth and J. G. Titus. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

Hansen, J. E., et al. "Greenhouse Effect of Chlorofluorocarbons and Other Trace Gases." *Journal of Geophysical Research* 94 (November 1989): 16,417–21.

Interdependent Committee for Atmospheric Sciences. *The Possible Impact of Fluorocarbons and Hydrocarbons on Ozone*. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, May 1975, 3.

Masters, G. M. *Introduction to Environmental Engineering and Science*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1991.

Molina, M. J., and F. S. Rowland. "Stratospheric Sink for Chlorofluoromethanes: Chlorine Atom Catalyzed Destruction of Ozone." *Nature* 248 (1974): 810–12.

Thompson, D. J. "The Seasons, Global Temperature, and Precession." *Science* 268 (1995): 59.

Wigley, T. M., P. D. Jones, and P. M. Kelly. "Empirical Climate Studies: Warm World Scenarios and the Detection of Climatic Change Induced by Radioactively Active Gases." In *The Greenhouse Effect, Climatic Change, and Ecosystems*, ed. B. Bolin et al. New York: Wiley, 1986.

Zurer, P. S. "Studies on Ozone Destruction Expand Beyond Antarctic. *C & E News*, May 1988, 18–25.

المراجع المقترحة

Adams, D. D., and W. P. Page, eds. *Acidic Deposition—Environmental Economic and Policy Issues*. New York: Plenum Publishers, 1985

Armentrout, P. *The Ozone Layer*. New York: Rourke Publishing Group, 1997.
Bridgman, H. A. *Global Air Pollution—Problems in the 1990s*. New York: Wiley, 1994.
Brown, P. *Global Warming: Can Civilization Survive?* New York: Blandford Press, 1997.
Crawford, M. *Air Pollution Control Theory*. New York: McGraw-Hill, 1976.
Dimitriades, B., and M. Whisman. "Carbon Monoxide in Lower Atmosphere Reactions." *Environmental Science and Technology* 5 (1971): 213.
Lyman, F. *The Greenhouse Trap*. Boston: Beacon, 1990.
Magill, P. L., F. R. Holden, and J. Ackley. *Air Pollution Handbook*. New York: McGraw-Hill, 1956.
Manabe, S., and R. T. Wetherald. "Large-Scale Changes of Soil Wetness Induced by an Increase in Atmospheric Carbon Dioxide." *Journal of the Atmospheric Science* 44 (1987): 1211–35.
———. "Reduction in Summer Soil Wetness Induced by an Increase in Atmospheric Carbon Dioxide." *Science* 232 (1986): 626–28.
Manabe, S., R. T. Wetherald, and R. J. Stauffer. "Summer Dryness Due to an Increase in Atmospheric CO_2 Concentration." *Climate Changer* 3 (1981): 347–86.
National Research Council. *Rethinking the Ozone Problem in Urban and Regional Air Pollution*. Washington, D.C.: National Academy Press, 1991.
Perkins, H. C. *Air Pollution*. New York: McGraw-Hill, 1974.
Samuel, J. H. *Global Warming and the Built Environment*. London: Chapman & Hall, 1996.
Schneider, S. H. "Detecting Climate Change Signals: Are There Any 'Fingerprints'?" *Science* 263 (1994): 341–47.
Seinfeld, J. H. *Air Pollution, Physical and Chemical Fundamentals*. New York: McGraw-Hill, 1975.
Wark, K., and C. F. Warner. *Air Pollution, Its Origin and Control*. 2nd ed. New York: Harper & Row, 1981.

الفصل الرابع عشر

تقنية التحكم في تلوث الهواء

Air Pollution Control Technology

إن تطبيق تقنية التحكم على مشاكل تلوث الهواء مبني على إفتراض إمكانية تقليل مصدر التلوث إلى قيمة محددة مسبقاَ تتفق مع القيم الدنيا المسموح بها بحسب القوانين المنظمة السارية. ولا يمكن تطبيق تقنية التحكم على مصدر لا يمكن التحكم به، كالبراكين مثلاً، كما أنه لا يمكن أن نتوقع إمكانية التحكم في مصدر التلوث بصورة كاملة، أو إنقاص الإنبعاثات إلى الصفر. إن كلفة التحكم في أي مصدر من مصادر تلوث الهواء تكون عادةً دالةً أسيةً لنسبة التحكم المطلوبة، ولذلك فإن هذه التكلفة تصبح واحدةً من أهم الاعتبارات في مستوي معدات التحكم.

بوبل Boubel وآخرون. 1994، 447

أهداف الفصل

Chapter objectives

بعد دراسة هذا الفصل، ينبغي أن تكون قادراً على أن:

- تَعرِف تقنية التحكم والقوانين المنظمة وتَصِف أهمية كل منها.
- تَتعرَّف على الاعتبارات التي تقود إلى استحداث القوانين المنظمة وتُناقش كل واحد من هذه الاعتبارات.
- تَتعرَّف على الطرق الأربع الرئيسية للتحكم، وتُناقش مدى سهولة استخدام كل واحد منها، وتحدد أيها أكثر استخداماً.
- تُناقش الاعتبارات القانونية ذات الصلة بحالة منشأة سيدار كريك للأسمدة وتَصِف العوامل البشرية التي لعبت دوراً في هذه القضية.
- تُناقش مزايا وعيوب تعديل الوقود .

- تَعرف العوامل التي يجب على المهندس البيئي أن يضعها في الحسبان عند اختياره لمعدات نظام التحكم.
- تُناقش المشاكل المحددة التي ترافق عملية إزالة الملوثات الحبيبية، والملوثات الغازية الساكنة، والملوثات الغازية المتنقلة.
- تَصِف الأصناف الخمس لمعدات التحكم في المواد الحبيبية، وتُناقش مزايا كل صنف وعيوبه، وتَرسم رسماً تخطيطياً يوضح البنية الأساسية لكل صنف.
- تُناقش تقنيات التحكم في كل صنف على ضوء إرشادات بونيكور وثيودور وديفيز.
- تُناقش مزايا وعيوب الإمتصاص، وتَصِف الأنواع الشائعة من وحدات الإمتصاص وتَرسم لكل منها رسماً تخطيطياً.
- تُناقش مزايا وعيوب الإدمصاص، وتَصِف وتَرسم رسماً تخطيطياُ للأنواع الشائعة من وحدات، وتسرد أسماء المواد التي تمتلك خاصية الإدمصاص.
- تُناقش مزايا وعيوب طريقتين من الطرق الشائعة لعملية التكثيف، وتَصِف طريقة عمل كل منهما، وتَرسمهما.
- تَصِف العمليات الكيميائية للإحتراق، وتُناقش مزايا وعيوب ثلاث من الأنظمة الشائعة للتحكم بعملية الإحتراق، وتَرسم رسماً تخطيطياُ لكل واحد منها.
- تَتعرَّف على المشاكل الخاصة التي تثيرها المصادر المتحركة لملوثات الهواء .

- تُناقش طريقتين من طرق التحكم في التلوث الذي تسببه المصادر المتحركة والتأثير الذي يمكن أن ينشأ عن هاتين الطريقتين على المجتمع الأمريكى.

- تَتعرَّف على مصادر مشاكل التلوث التي تتسبب بها السيارات، وتُناقش الكيفية التي يتحكم بها في هذه المصادر في الوقت الراهن.

- تحدد أي النظم تمثل الخيار الأفضل في حالة التطبيقات المنفردة .

خطة الفصل

Chapter Objectives

- تعريف ومناقشة نظرية ونظام التحكم والاعتبارات الثلاثة التى تنتج بموجبها القوانين المنظمة.

- تعريف ومناقشة:الطرق الأربعة الممكنة للتحكم وبعض عيوبها.

- تعريف ومناقشة: مثال:كل طرق التحكم التى استخدمت فى منشاة سيدار كريك للأسمدة.

- مناقشة: مزايا وعيوب تعديل الوقود وتَنْصيب معدات التحكم كأفضل البدائل المعتادة.

- تعريف ومناقشة: العوامل الرئيسية التى تأخذ في الاعتبار عند اختيار معدات التحكم.

- تعريف ومناقشة: الاعتبارات الخاصة لمعالجة المواد الحبيبية الجافة والرطبة.

- تعريف ومناقشة: الأنواع الأربعة المتكافئة المستخدمة في التخلص من الملوثات الحبيبية: مرسبات الجاذبية، وجامعات الزوابع، والمرسبات الكهروستاتيكية، ومنقيات الغاز الرطبة ومرشحات الأكياس القماشية.

- تعريف ومناقشة: عمليات المعالجة الأربعة المعتادة المتوفرة حالياً للتحكم بإنبعاث الملوثات الغازية الساكنة.

- تعريف ومناقشة: الكيفية التى تنقل بها وحدات الإمتصاص الملوثات الغازية الى الطور السائل ووأنواع وحدات الامتصاص شائعة الاستخدام.

- تعريف ومناقشة :الكيفية التى تخفف بها المواد المدمصة (الكيميائية والفيزيائية) من الملوثات الغازية.

- تعريف ومناقشة:الكيفية التى يخفف بها نوعان من المكثفات من الملوثات الغازية ومزايا وعيوب كلا النوعين.

- تعريف ومناقشة:المصادر المتحركة لملوثات الهواء، ومستوى مسؤولية السيارات عن إنتاج الغازات الملوثة، وطريقتين من طرق تخفيف التلوث الناتج من هذه المصادر.

- تعريف: التحكم في انبعاثات علبة المرافق.

- تعريف:التحكم فى الإنبعاثات التبخرية.

- تعريف ومناقشة:التحكم عن طريق استخدام المحولات الحفزية والانواع الثلاث المتوفرة من هذه المحولات.

Key Terms المصطلحات الرئيسية

adsorption	مرسبات الجاذبية	absorption	الإمتصاص
hot soak	النقيع الساخن	condenser	مكثف
gravity settlers	الإدمصاص	absorption units	وحدات الإمتصاص
afterburners	المواقد الخلفية	impaction	إصطدام
baghouse filter	المرشح الكيسي	incineration	حرق، ترميد
combustion	إحتراق	interception	إعتراض
contact condenser	مكثف تماس	blowby	غاز الإحتراق المتسرب
stationary sources	تكثيف المصادر الثابتة	mobile sources	المصادر المتحركة
surface condenser	مكثف السطح	carbon adsorption	إدمصاص الكربون
thermal incinerator	المرمد الحراري	catalytic combustion	الإحتراق الحفزى
condenser	مكثف	catalytic converter	المحول الحفزي
contact condenser	مكثف التماس	collector	المجمع
cyclone diffusion	إنتشار الزوبعة	packed tower	البرج المعبأ
turbulence	إضطراب	particulate matter	المادة الحبيبية
venturi	البخاخ	plate tower	برج لوحي
direct flame combustion	إحتراق اللهب	positive crankcase	تنفيس علبة

المرافق الإيجابية	ventilation	المباشر	
خسائر التشغيل	running losses	مرسب كهروستاتيكي	electrostatic precipitator
إنبعاثات تبخرية	evaporative emissions	منقي الغازات الرطب	wet scrubber
توهج	flare		

مقدمة
Introduction

ترسي فصول هذا الكتاب، من الفصل التاسع وحتى الثالث عشر، الأساس للنقاش المعروض فى هذا الفصل. تعتمد جودة الهواء على منع التلوث وعلى الحد من الإنبعاثات.

الآن، وقد أصبحت لديك صورة واضحة عن المشكلة التي تحاول نظم التحكم في تلوث الهواء حلها؛ فإن الوقت قد حان لكى نتفحص المعايير المستخدمة فى عمليات التحكم هذه والتى يمكن أن تتحقق بعدد من الطرق. فى هذه المرحلة ينبغى أن يكون قد أدركت أن الحد من الإنبعاثات فى الهواء أمر مكلف ومعقد فنياً.

هنالك عاملان مهمان على صلة وثيقة بهذا الموضوع ذكرا فى الإقتباس الذى أستهل به هذا الفصل وهما: تقنية التحكم والقوانين المنظمة، وهذان العاملان متساويان فى الأهمية، وفى واقع الامر فإن كلاً منهما يقود إلى الآخر. تبدأ عملية التحكم بتلوث الهواء بالقوانين المنظمة. هذه القوانين التي تنظم وتقلل وتتخلص من مصدر الإنبعاثات الملوثة، تنشأ بسبب هواجس بعض

المجتمعات. يشير بونيكور (Buonicore) وثيودور (Theodore) وديفيز (Davis) الى أن القوانين تنشأ عادة حول ثلاث إعتبارات رئيسية:

1. قيود قانونية تفرض من اجل حماية الصحة والرفاهية العامة.

2 . قيود مجتمعية يفرضها المجتمع الذى يوجد فيه مصدر التلوث.

3. قيود اقتصادية تفرضها إلزامات السوق.

يحاول المهندس الذى يطلب منه إن يقلل من مشكلة تلوث الهواء أن يتأكد من تصميم وسيلة تحكم يكون بمقدورها أن توائم بين مصدر التلوث والقوانين المنظمة ذات الصلة. لكى يتمكن هذا المهندس من إنجاز هذا الهدف فإنه يتحتم عليه أن يفهم المشكلة إبتدآءً ومن ثم يعول بشدة على التقنية لكى يصحح الوضع.

توجد عدة تقنيات متنوعة لمهندسي البيئة وللعلماء الذين يعملون على مشاكل تقليل مصادر التلوث. عن طريق التحليل الدقيق للمشكلة واستخدام اكثر الطرق فعالية فى التعامل مع الوضع التلوث المحدد، فإن المهندس أو العالم بمقدورهما التأكد من أن مصادر التلوث هذه قد أصبحت تحت السيطرة وأن الأطراف المسؤولة عنها غير مخالفة للقوانين المنظمة ذات الصلة.

خيارات التحكم فى تلوث الهواء
Air pollution control: Choices

بإفتراض أن مهندس التصميم يمتلك المعرفة الكاملة بالملوث ومصدره، وكل البيانات الكيميائية والفيزيائية المتاحة عن الإنبعاثات من المصدر، والقوانين المنظمة التي تفرضها الجهات المعنية، فإن هذا المهندس ينبغى عليه بعد ذلك أن يحدد منهجية التحكم التي يود استخدامها. وبسبب محدودية وسائل التحكم المتوفرة، فإن الخيارات المتاحة أمامه تكون ضيقةً. يتم التحكم بالتلوث الجوي

عادة بواحدة من أربع طرق إعتماداً على طبيعة العمليات، والأنواع، وأصناف الوقود، ومدى توفر معدات التحكم؛ هذه الطرق هي: 1.التخلص من العملية كلياً أو جزئياً، 2. تعديل العملية بحيث تستخدم وقوداً لا يتجاوز الحد المسموح به من الإنبعاثات، 3. تنصيب معدات تحكم ما بين مصدر الملوث والمستقبل، و4. نقل العملية الى موضع آخر. وبسبب التكلفة العالية لخياري التخلص من العملية أو نقلها إلى موضع آخر فإن هذين الاختيارين يلجاء اليهما كملاذ أخير.

التخلص من العملية برمتها ليس بالأمر اليسير خصوصاً إذا كانت هذه "العملية" المراد التخلص منها هي ذات العملية التى من أجلها أوجدت المنشأة فى المقام الأول. وفى الوقت ذاته فإن نقل العملية الى موضع مختلف ليس هو الحل دائماً، أيضاً. ضع فى الاعتبار الوضع المقدم فى دراسة الحالة 1.14

دراسة الحالة 1.14 Case Study

سيدار كريك للأسمدة Cedar Creek Composting

بنيت منشأة "سيدار كريك للأسمدة" فى العام 1970 .هذه المنشأة التي امتدت على مساحة 44 فداناً، صممت لكى تستقبل وتعالج المواد الصلبة الحيوية فى مياه الصرف الصحي المتجمعة من ست محطات معالجة صرف صحى محلية وتحويلها الى أسمدة. كان معدل عملية التحويل هذه 5.17 طن جاف فى اليوم الواحد. استخدمت منشأة سيدار كريك طريقة الكومة الساكنة المهواة لكى تنتج مادة شبيهة بالدبال خالية من العوامل الممرضة يمكن استخدامها بصورة إيجابية كمُعدِل عضوى للتربة. وقد كان السماد المنتج ناجحاً وتم تسويقه تحت أسم تجارى. منشأة سيدار كريك للأسمدة متوقفة عن العمل فى الوقت الراهن ومقرها مغلق منذ العام 1997. من وجهة النظر الإقتصادية، كانت هذه المنشأة مشروعاً ناجحاً جداً. فحينما كانت كومة السماد جديدة تتم دورة انتاج

كاملة (بما في ذلك مرحلة المعالجة) بفترة وجيزة، وإن عربات الجر كانت تصطف الواحدة بعد الأخرى على إمتداد الطريق خارج البوابة الرئيسية فى انتظار شراء حمولات عدة من المنتج الرائج، لم يكن العامل الاقتصادى هو المشكلة، على العكس من ذلك، لم يكن في مستطاع منشأة سيدار كريك أن تنتج ما يكفي من السماد لتلبية الطلبات. إذاً، ماذا كانت المشكلة؟ للإجابة هنالك فى الحقيقة، شقان. الشق الأول يعود إلى القيود المجتمعية التى فرضها المجتمع المحيط بموقع المنشأة. ففى العام 1970 كانت فدانات منشأة سيدار كريك الأربعة والأربعون موجودةً فى منطقة ريفية بعيدة من البلدة. ولم يكن يجاورها إلا المطار المحلي، الذي كانت تستخدمه طائرة واحدة، من الناحية الشرقية، والغابات من الجهات الثلاث الأخرى. وكانت أقرب البلدات تقع على بعد ميلين من المنشأة. لكن فى منتَصف سبعينيات القرن العشرين بدأ الوضع يتغير. إذ إن النمو السكانى والتوسع الحضرى المصاحب له عجل من تحويل الأراضى الغابية الى مجمعات سكنية ومراكز تسوق. وسرعان ما أصبح الحد الغربى لمنشأة سيدار كريك موضعاً لطريق ذى مضمارين، حُدثت بسرعة الى أربعة ثم الى ست مضامير. فصل الحد الشمالى لمنشأة سيدار كريك بينها وبين مجمع تجارى ضخم. وعلى الطرف الجنوبى للمنشأة ملئت فدانات عديدة بمنازل، وملاعب، وأحواض سباحة، وصالات تنس، وملعب جولف. وأضحت منشأة سيدار كريك جزيرة محاطةً بالنمو الحضرى. وقد زاد المطار الأمر تعقيداً إذ إنه توسع الى درجة أن ثلاث خطوط طيران رئيسية كانت تستخدمه بحلول العام 1985 ولم تكن عملية إنتاج السماد بطريقة كومة السماد المهواة التى كانت تستخدمها منشأة سيدار كريك تمثل أي مشكلة قبل أن يعمر الجوار.

هوجمت منشأة سيدار كريك من الجهات الأربع. وأتت أولى الشكاوى من قبل المطار الذى تذمرت إدارته من أن الغبار المتصاعد من أكوام السماد الساكنة كان يتداخل مع عملية التحكم فى حركة النقل الجوي.

جلب الطريق السريع الجديد والواقع مباشرة بجوار السور الغربى لمنشأة سيدار كريك، عدة آلاف من المسافرين . بدأ هؤلاء فى الشكوى فى كل مرة تجري فيها عملية إنتاج السماد. كان مصدر شكواهم الرئيسي هو تلك الرائحة الثقيلة، النفاذة التى كانت تتخلل كل شئ تصادفه. إلا أن قلةً منهم أحبوا هذه الرائحة التى كانت تريحهم وتثير فيهم الأفكار المرتبطة بالحدائق والمزارع وبالطبيعة. وما أن انتهى مشروع الإسكان الضخم وأنتقل الناس للسكنى فيه حتى بدأوا يجأرون بالشكوى فى كل يوم. إشتكى مالكوا المنازل من الرائحة النفاذة والغبار الذى كانت تذروه الريح على ممتلكاتهم كلما هبت من قبل المنشأة. بعد ذلك بدأ "المتسوقون" بالكلام. كان هؤلاء يقودون عرباتهم الى مراكز التسوق وما أن يخرجوا منها حتى تزكم أنوفهم تلك الرائحة النفاذة جاعلةً إياهم يتساءلون "ما هذه الرائحة الفظيعة؟". وحينما كانوا يعرفون طبيعة هذه الرائحة ومن أين أتت، لم يكن هاتف البلدية يتوقف عن الرنين. إستقبلت البلدية عدة آلاف من الشكاوى فى الأشهر القليلة الأولى قبل أن تقوم بأي تحرك. طلب إلى مهندس البلدية البيئى أن يتوجه الى إدارة منشأة سيدار كريك ليرى ما إذا كان هناك ثمة حل لهذه المشكلة يمكن البدء فى تنفيذه. إستمعت ادارة المنشأة إلى هواجس المهندس، إلا أنها ردت بأن ليس بمقدورها الكثير لتفعله من أجل حل هذه المشكلة. وكما يمكنك أن تتخيل، لم تكن هذه الإجابة ما كانت البلدية تود سماعه. دفع الإحساس بالضغوطات المتزايدة من قبل السكان المحليين ومستخدمى الطريق والمتسوقين وإدارة المطار البلدية الى طلب العون من ممثلي الولاية عن الدائرة المحلية. وبدأ النائبان المحليان مباشرة فى شن حملة

من اجل إغلاق منشأة سيدار كريك. كان تفكيرهم كالآتى: إن أربعة وأربعين فداناً لهي مساحة شاسعة من الارض تصلح لأن تملأ بمنازل جديدة، الشئ الذى يعنى سكاناً محليين أكثر، وبالتالى أصواتاً إنتخابية أوفر.

لم تكن منشأة سيدار كريك قليلة الحيلة فى هذا الصراع. إذ إن اصحاب العقارات والقاطنين في هذه المنازل كانوا على علم مسبق بوجود هذه المنشأة في جوارهم المباشر. كما كانت منشأة سيدار كريك أيضاً مسنودةً بوقوف هيئة حماية البيئة فى الولايات المتحدة الامريكية في صفها. لأن منشأة سيدار كريك كانت تأخذ منتج صرف صحى لا يرغب به أحد كان ينتهي به المطاف عادة فى مكبات القمامة المحلية (شاغلاً بذلك مساحة نفيسةً من الأرض) وتحوله الى منتج معاد الاستخدام مفيد؛ فلقد كانت منشأة سيدار كريك تساعد الطبيعة على حماية البيئة المحلية والحفاظ عليها.

فى واقع الأمر، لم تحفل إدارة المدينة بهذه الأهداف النبيلة. كل ما عناهم فى الأمر هو هموم قاعدتهم الإنتخابية، لذلك واصلوا الهجوم على المنشأة عن طريق الصحافة المطبوعة، ووسائل الإعلام الإلكترونية، والتشريعات وكل الوسائل التى أمكنهم استخدامها لهذا الغرض. أدركت إدارة منشأة سيدار كريك حجم المشكلة، وأحست بالضغط، وبأنه ينبغي عمل شئ ما، وقد كان. أوكل لقسم الهندسة البيئية فى الشركة مهمة إنجاز خطة لتخفيف مشكلة الرائحة إضافةً إلى مشكلة الغبار. وبعد عدة أشهر من البحث والدراسات التجريبية، توصل مهندسوا المنشأة الى حل. شمل هذا الحل تغطية المنشأة بكاملها ببنية ذاتية الإحتواء. كانت هذه البنية لتزوَد بنظام تهوية من أحدث طراز، ومنقيات رائحة ثنائية الطور. وقد قدر المهندسون بأن الرائحة سوف تخفف بنسبة 90 %، بينما تحل مشكلة الغبار بنسبة 98.8%. ظنت إدارة منشأة سيدار كريك أنها أتت بحل قابل للتنفيذ، كما أنها كانت مستعدة لانفاق مبلغ 2.5 مليون

دولار لإجراء التعديلات اللازمة على المنشأة. بعد ذلك قدمت منشأة سيدار كريك خطة تخفيف التلوث الى مجلس المدينة، الذى لم يعلق أعضاؤه على الخطة، إلا أنهم قالوا أنهم بحاجة الى بعض الوقت لكى يتسنى لهم دراستها. بعد ثلاثة أسابيع إستلمت منشأة سيدار كريك رداً خطياً من عمدة المدينة فحواه أن جهود منشأة سيدار كريك لإيجاد خطة لتخفيف الرائحة والغبار الناتجين من عمليات إنتاج الاسمدة جديرة بالثناء والإشادة، إلا أنها غير مقبولة.

أدركت إدارة منشأة سيدار كريك من قراءتها لخطاب العمدة أن بؤرة الهجوم قد تحولت من قضية إجتماعية الى قضية قانونية. أشار العمدة إلى أن له ولقادة المدينة الآخرين مسؤولية قانونية تجاه صحة ورفاهية المواطنين. كما ذكر أيضاً أن بعض القيود القانونية سوف تفرض على منشأة سيدار كريك من أجل حماية صحة السكان وسلامتهم.

ساهم المطار أيضاً فى تعقيد الأمر، إذ إن المسؤولين عنه رفضوا خطة سيدار كريك لإجراء التعديلات على منشآتها. تلخصت شكواهم، التى كتبت على الأوراق الرسمية لهيئة الطيران الفيدرالية، في أن الغبار المتولد من منشأة صنع السماد هذه، يشكل خطراً على عمليات الطيران، ومع أن المشكلة كانت سوف تخفف بصورة كبيرة عن طريق عمليات التحكم الهندسي، إلا أن هذه العمليات برأي المطار معرضة دوماً للفشل، الشئ الذى يهدد سلامة الطائرات. لذا لم تلق هذه الخطة قبولاً من قبل إدارة المطار. ومرت عدة أعوام وإدارة سيدار كريك والمسئولون المحليون فى نزاع على مصير منشأة الأسمدة. وفى النهاية قررت إدارة المنشأة أن عليها أن توقف العمل فى المنشأة وتنقل عملياتها الى موقع آخر، وبذلك أغلق المصنع. كانت إدارة سيدار كريك تبحث عن موقع آخر لمنشأة تحويل المخلفات الحيوية الصلبة إلى أسمدة قبل وبعد قرار الإغلاق، وما زال هذا البحث مستمراً حتى يومنا هذا، ولقد بحثت الشركة

بإستمرار عن عدة مواقع قريبة نسبياً للمدينة لكنها بعيدة بما يكفى لتفادى مشكلة أى غبار أو رائحة . لكن لم تكتمل الصفقة في أي من المحاولات . وماذا كان العذر فى كل مرة؟ ليس فى باحتي الخلفية. مازال مسؤولوا المنشأة يبحثون عن موقع جديد، إلا أنهم ليسوا متفائلين جداً بنجاح مساعيهم.

البديل الثانى فى عمليات التحكم –تحويل العملية لكي تستخدم وقوداً يعطي الحد المسموح به من الإنبعاثات. يبدو هو الخيار الأفضل لأولئك الذين يوازنون التكلفة الباهظة لأنظمة التحكم فى تلوث الهواء. كان تعديل العملية لكي تتخلص من أكبر قدر ممكن من مشاكل التلوث هو بصورة عامة المقاربة الأولى التى يتم دراستها. وعادةً ما يكون أسهل الطرق لتعديل عملية التحكم فى تلوث الهواء هو خيار تغيير الوقود. فإذا كانت منشأة الطاقة، على سبيل المثال، تنتج كميات كبيرة من ثانى أوكسيد الكبريت ومن الرماد المتطاير، فإن التحول لاستخدام وقود ذي إحتراق أنظف يكون أقل تكلفة من تنصيب معدات التحكم اللازمة لتقليل الإنبعاثات الملوثة الى الحدود المسموح بها. لكن التحول من وقود لآخر له مشاكله الخاصة ذات الصلة بالتكلفة والوفرة، والمقدرة على المنافسة. وأن أسعار الوقود اليوم فى تزايد، ولا يبدو هذا النسق قابلاً للإنعكاس. إن إيجاد وقود ذي محتوى كبريتي منخفض ليس بالأمر اليسير، خصوصا وأن عدداً من الصناعات لها إمداداتها الحصرية (التى لا تتاح للآخرين فى الصناعات المغايرة). ومع التهديد الذى تسببه القوانين المنظمة للجميع، فإن الجميع يريدون حصةً من أي وقود متاح منخفض التكلفة. وبسبب شح الإمدادات، فإن قانون العرض والطلب يكون هو القانون الحاكم الشئ الذى يؤدي الى رفع الأسعار. هذا وتستخدم بعض الصناعات طرقاً أخرى من أجل تعديل عمليات الإنتاج. تشمل هذه الطرق تقييم تقنيات الإنتاج والتصنيع

البديلة، وإستبدال المواد الخام وطرق التحكم المحسنة (بونيكور، ثيودور، وديفيز 1992).

حينما يتعذر التخلص من العملية (المسببة للتلوث) كلياً أو جزئياً، أو نقلها الى موقع مختلف أو تعديلها بحيث تنتج الحد المسموح به من الإنبعاثات، فإن الخيار الوحيد المتبقى هو (3). تنصيب معدات التحكم بين مصدر الملوث والمستقبل. الغرض من تنصيب معدات التحكم أو نظام التحكم هو إزالة التلوث من الغاز الناقل الملوث. كما هو واضح، لكى تتم هذه العملية، فإنه ينبغي أن يمر الغاز الناقل الملوث عبر أداة أو نظام تحكم يجمع أو يفكك الملوث ويطلق الغاز الناقل المنظف الى الجو الخارجى (بوبل وآخرين 1994).

بما أن اختيار نوع وسيلة التحكم فى تلوث الهواء عادةً ما يستند الى انتقاء معدات وأنظمة تحكم فى التلوث بإعتباره البديل العملي والممكن التنفيذ، فإن باقي هذا الفصل سوف يركز على معدات وأنظمة التحكم فى تلوث الهواء.

معدات وأنظمة التحكم في تلوث الهواء
Air pollution Control Equipment and Systems

يتحتم وضع عدد من الاعتبارات فى كل قرار لاختيار أنظمة تحكم فى تلوث الهواء. وبالخصوص، يجب وضع التكلفة فى عين الاعتبار. أيضاً ينبغي أن تصمم المعدات أو الأنظمة بحيث تتواءم مع القيود المحددة للإنبعاثات. كما ينبغى تقييم سجل الصيانة والتشغيل لكل جهاز أو نظام، بحيث يشمل ذلك تكلفة الطاقة والعمالة، وقطع الغيار. كذلك ينبغي أن تعمل معدات التحكم فى الإنبعاثات بصورة مستمرة وبلا توقف، لأن أيَّ أنقطاع من شأنه أن يعرض المنشأة لعقوبات قانونية عالية التكلفة. ربما كان العامل الرئيسى فى اختيار المعدات والانظمة هو نوع الملوث أو تيار التلوث تحت الاعتبار. على سبيل المثال، إذا كان الملوث منقولاً عن طريق غاز حامل، فإن بعض العوامل مثل

ضغط الغاز، ودرجة الحرارة، ومدى لزوجة الغاز، وكثافته، ومحتواه من الرطوبة، وخواصه الحاتة، وقابليته للإشتعال يجب ان توضع جميعها فى عين الاعتبار قبل اتخاذ أي قرار اختيار.

العوامل الاخرى ذات الأهمية والتى يجب ان توضع فى الاعتبار عند اختيار معدات التحكم فى تلوث الهواء مذكورة فى جدول1.14 . بالاضافة الى هذه العوامل، فان الاعتبارات الأخرى ذات الصلة بالعملية مثل معدل سريان الغاز، وسرعة وتركيز الملوث، ومقدار انخفاض الضغط المسموح به، والإختلاف بين معدلات سريان الغاز والملوث (شاملاً درجة الحرارة) يجب أن توضع جميعها فى الاعتبار. كذلك نوع الملوث (ما إذا كان حبيبياً أو غازياً) هو أيضاً عامل مهم، يستحق أن يوضع فى الاعتبار. إذا كان الملوث غازياً، على سبيل المثال، فما هو مدى قابليته للإشتعال والتفاعل، وما هو مدى سميته؟ بعد أن تقيم كل هذه العوامل، فإن التركيز يتحول إلى انتقاء معدات وأنظمة تحكم تكون تكلفتها في متناول اليد، وعملية، ومصرح بها قانونياً، إعتماداً، بالطبع، على نوع الملوث المراد إزالته.

فى الأجزاءالتالية من هذا الفصل سوف نناقش نوعين من انواع الملوثات (الحبيبات الجافة والملوثات الغازية) وعمليات وأنظمة التحكم فى تلوث الهواء المتوفرة لإزالتهما.

جدول 1.14 العوامل التي تختار بموجبها معدات وأنظمة التحكم في تلوث الهواء

الرقم	العامل المهم (الواجب أخذه بالحسبان)
1	أفضل التقنيات المتاحة
2	الموثوقية
3	العمر والقيمة الباقية

4	متطلبات الطاقة
5	فعالية التجميع
6	التكلفة الأساسية شاملةً كلفة التشغيل والصيانة
7	سجل المعدات والأنظمة والمصنع
8	حجم الفراغ المطلوب والوزن
9	متطلبات الطاقة
10	توفر قطع الغيار ومندوبي المصنع

إزالة الحبيبيات الجافة

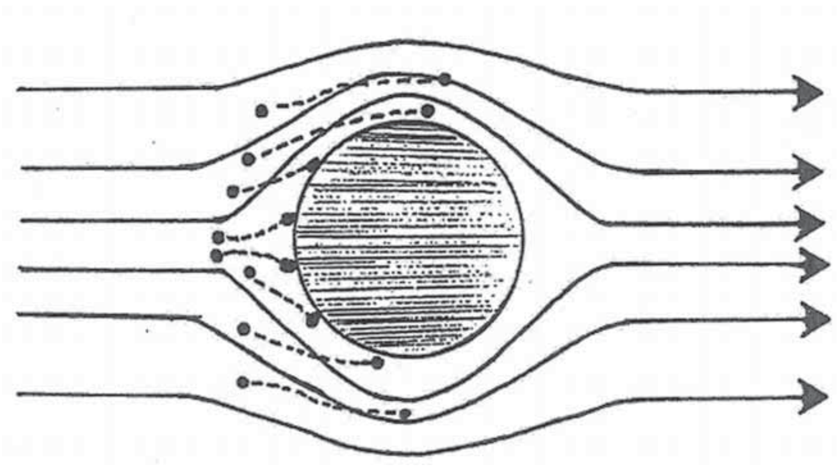
Removal of Dry Particulate Matter

الاختيار الأمثل لمعدات وأنظمة التحكم فى تلوث الهواء من أجل إزالة المواد الحبيبية يتطلب فهماً لأساسيات طبيعة هذه المواد.

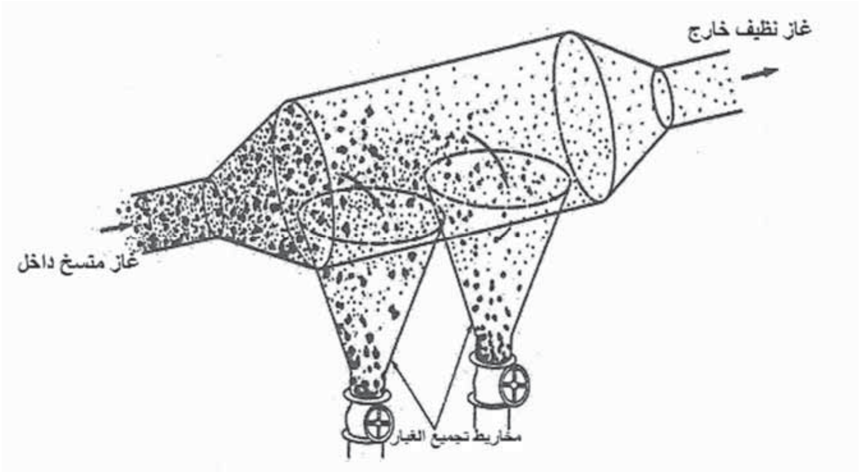
المواد الحبيبية: Particulate Matter

تمثل الحبيبات صنفاً رئيسياً من أصناف الملوثات . وتوجد فى مجموعة متنوعة من الاشكال والأحجام كما أن لها مدىً واسعاً من الخواص الكيميائية والفيزيائية سواء أكانت غباراً جافاً أو قطراتٍ سائلة. تنبعث الحبيبات من مصادر شتى، تشمل مصادر احتراق ومصادر لا إحتراق فى الصناعة، والتعدين، والإنشاءات، والمرمدات وماكينات الإحتراق الداخلى. تنبعث الحبيبات الجافة أيضاً من المصادر الطبيعية مثل البراكين، وحرائق الغابات، وغبار الطلع، والعواصف. الجسيمات والمواد الحبيبية لها ميزاتها المحددة التي يجب أن توضع فى الاعتبار جنباً بجنب مع ظروف العملية فى أي إستراتيجية هندسية يهدف من وراءها إلى فصل وإزالة هذه المواد من الغاز الناقل لها. أحجام الحبيبيات، ومدى حجومها، وتوزيعها، وأشكال جسيماتها، وخواصها الحاتة،

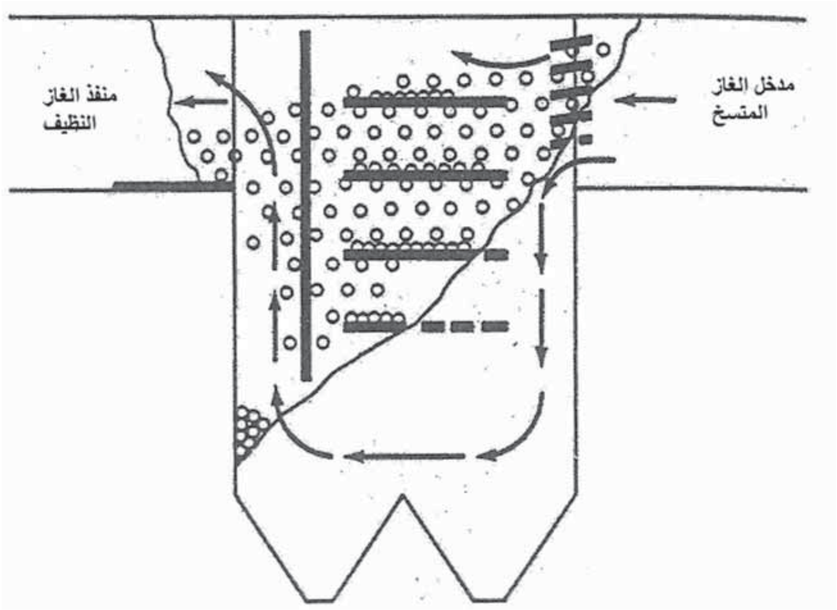
وميولها للتجمع، وسميتها، وقابليتها للتفاعل والإشتعال، وميولها لامتصاص الرطوبة، كل هذه العوامل جميعاً، يجب أن تتفحص فى ضوء محدودية إمكانيات المعدات. تفصل الحبيبات من تيار الغاز فى عملية التحكم فى تلوث الهواء باستخدام واحدةٍ أو أكثر من القوى فى مرسبات الجاذبية، ومرسبات الطرد المركزي، والمرشحات القماشية، والمرسبات الكهروستاتيكية، ومنقيات الغاز الرطبة. بعد ذلك تجمع الجسيمات وتزال من النظام. حينما يقترب مائع ساري (فى التطبيقات العلمية والهندسية تعتبر كلتا الحالتين السائلة والغازية موائع) من جسم ثابت مثل الصفيحة المعدنية، أو خيط القماش، أو قطرة ماء ضخمة فإن المائع يتشعب حول الجسم المحدد، إلا أن الجسيمات الموجودة فى المائع لا تتبع سير التيار بصورة كاملة (بسبب طاقة وضعها) عوضاً عن ذلك فإنها تميل إلى مواصلة مسارها فى إتجاهها الأصلى. فإذا إمتلكت هذه الجسيمات طاقة الوضع الكافية وكانت على بعد كاف من الجسم الساكن، فإنها سوف تصطدم به وتتجمع عليه. هذه الظاهرة المهمة موضحة فى الشكل 1.14. تتجمع الجسيمات عن طريق الإصطدام والإعتراض والإنتشار. ويحدث الإصطدام حينما يضرب مركز كتلة الجسيم المتشعب من المائع جسماً ثابتاً . بينما يحدث الإعتراض عندما يمر مركز كتلة الجسيم بالقرب من الجسم الثابت بهامش ضئيل إلا أنه يصطدم بالجسم الثابت بسبب حجمه المحدود. كذلك، يحدث الانتشار عندما "تنتشر" الجسيمات فى اتجاه الجسم الثابت أثناء مرورها من جواره.



الشكل 1.14 تجمع الجسيمات على جسم ساكن



الشكل 2.14 غرفة الترسيب بفعل الجاذبية
EPA تقنيات التحكم في الغازات والمواد الحبيبية، 1971.



الشكل 3.14 غرفة ترسيب بفعل الجاذبية مكبوحة
EPA تقنيات التحكم في الغازات والمواد الحبيبية، 1971

تتجمع الجسيمات التى تصطدم بالجسم الثابت بأي من الطرق الثلاث المذكورة أعلاه، إذا كانت القوي (الكيميائية والفيزيائية) التى تعمل فى المدى القصير وما الى ذلك قوية بما يكفى لتثبت هذه الجسيمات على سطح الجسم (كوبر واللي 1990).

معدات التحكم فى تلوث الهواء المستخدمة على الحبيبيات
Air Pollution Control Equipment for Particulates

تشمل الأنواع المختلفة من معدات التحكم بالحبيبات: مرسبات الجاذبية، والزوابع، والمرسبات الكهروستاتيكية، ومنقيات الغاز الرطبة، ومرشحات الأكياس. وفى هذا القسم سوف نقدم باختصار لكل الأنواع الرئيسية من معدات التحكم ونشير الى مزاياها وعيوبها.

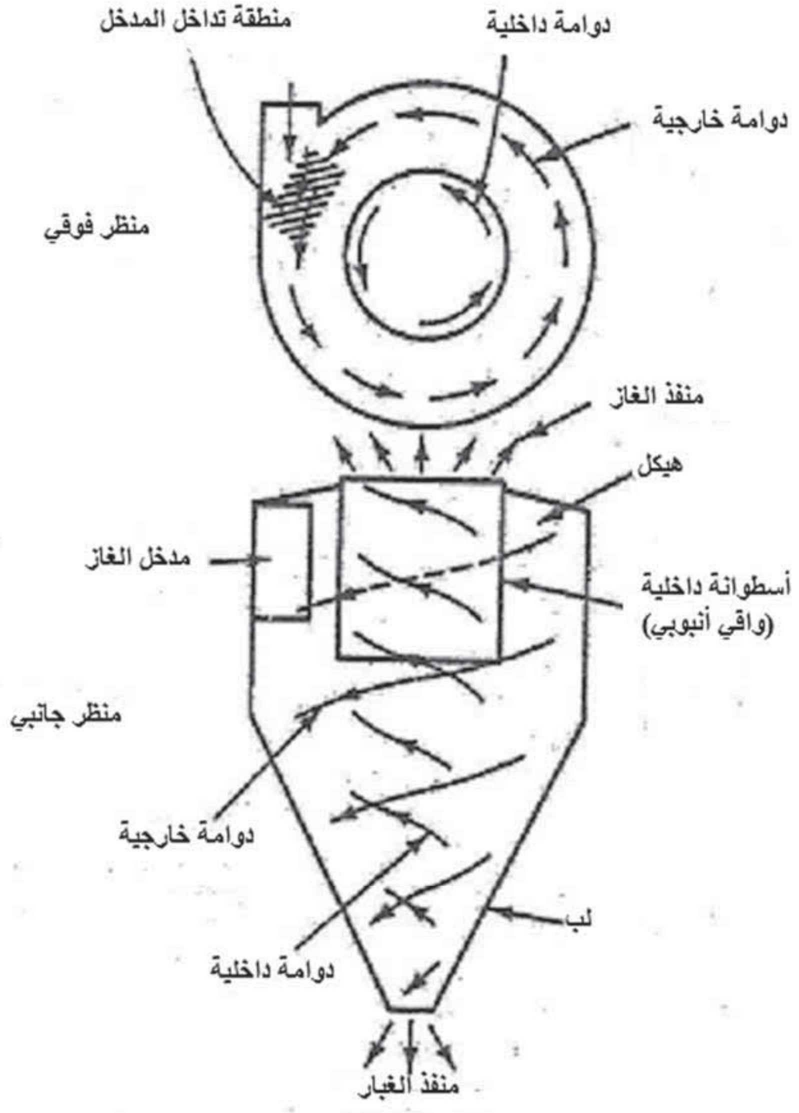
المرسبات التثاقلية Gravity Settlers

أستخدمت المرسبات التثاقلية منذ أمد بعيد فى الصناعة من أجل إزالة الفضلات الصلبة والسائلة من التيارات الغازية. مرسبات الجاذبية، والتي يمكن بناؤها بسهولة، ما هي في الواقع إلا حجيرة مضخمة تبطيء فيها سرعة الغاز الأفقية مما يسمح للجسيمات بالترسب بفعل الجاذبية. تتميز المرسبات التثاقلية بكلفة إبتدائية منخفضة، وبإنخفاض تكلفة تشغيلها وصيانتها، نسبياً. وعلى الرغم من بساطة تصميمها، تحتاج المرسبات التثاقلية مساحةً كبيرة لتنصيبها، كما أن لها فعالية منخفضة نسبياً، خصوصاً في إزالة الجسيمات الصغيرة (<50 μm).

مجمعات الزوابع Cyclone Collectors

يزيل مجمع الزوبعة (ذو قوة الطرد المركزي) الجسيمات بإجبار التيار الغازي على الإنسياب بنسق حلزوني داخل أنبوب، وهو المجمِع المفضل لإزالة الأجسام التي يزيد قطرها عن 10 ميكرومترات. تتسبب القوة الطاردة المركزية في دفع الجسيمات الأكبر إلى الخارج وإلى إصطدامها بحائط الأنبوب. تنزلق الجسيمات بعد ذلك إلى أسفل المخروط حيث تتم إزالتها. وينساب الغاز المنظف، بعد ذلك، إلى الخارج عبر فوهة الزوبعة (إنظر الشكل 4.14). للزوابع تكاليف إنشاء منخفضة كما أن تنصيبها لا يحتاج مساحةً كبيرة. إلا أن فعاليته الكلية في تجميع الجسيمات منخفضة، خصوصاً، لتلك التي يقل قطرها عن عشرة ميكروميترات، كما أن هذه الزوابع لا تستطيع معالجة المواد اللزجة بصورة جيدة. غير أن أكثر مشاكل هذه الزوابع جديةً تتعلق بمعادلة إنسياب الهواء وميلها لأن تنسد. تم استخدام الزوابع بنجاح في مطاحن الحبوب

ومصانع الأسمنت، ومصانع الأسمدة، ومصافي النفط وفي الاستخدامات الأخرى التي تتضمن كميات كبيرة من الغاز فيها جسيمات كبيرة نسبياً.



الشكل 4.14 زوبعة الإنسياب المعكوس
يو إس إتش إي دبليو. تقنيات التحكم في ملوثات الهواء الحبيبية

المرسبات الكهروستاتيكية Electrostatic Precipitators

تستخدم هذه المرسبات، عادةً، في إزالة الجسيمات الصغيرة من التيارات الغازية بكفاءة تجميعية عالية. وتستخدم المرسبات الكهروستاتيكية بصورة واسعة في منشآت الطاقة، في إزالة الرماد المتطاير من الغازات قبل مرحلة التفريغ. وتعمل الطاقة الكهروستاتيكية في فصل الجسيمات من التيار الغازي حيث تتكون منطقة ذات فرق جهد عالٍ بين الأقطاب، تكتسب الجسيمات العابرة خلال المجال الكهربائي الناتج شحنة كهربائية. تتجمع بعد ذلك هذه الجسيمات المشحونة على الصواني ذات الشحنات الكهربائية المختلفة بينما ينساب الغاز المنظف عبر هذه الآلة. يتم تنظيف الصواني، بصورة دورية، عن طريق الخض (rapping) لفصل طبقة الغبار المتراكم، وتجميعه في حاوية (hopper) موجودة أسفل الجهاز (إنظر الشكل 5.14). وعلى الرغم من إنخفاض تكلفة تشغيلها، ومقدرتها على العمل عند درجات الحرارة المرتفعة (1300° درجة فهرنهايتيه)، انخفاض ضئيل في الضغط، وفعاليتها البالغة في تجميع الجسيمات (الناعمة والخشنة)، إلا أن عيبها هو تكلفتها الباهظة وشغلها لمساحة كبيرة من الفراغ.

منقيات الغاز الرطبة Wet (Venturi) Scrubbers

وجدت المنقيات أو المجمعات الرطبة استخداماً واسعاً في تنظيف تيارات الغاز الملوث (مثل تلك الناتجة من الإنبعاثات الغازية من المسابك، والرذاذ الحمضي، وأبخرة الأفران) بسبب مقدرتها على إزالة الملوثات الحبيبية والغازية. يتفاوت مدى تعقيد منقيات الغاز من غرف الرذاذ البسيطة التي تزيل الجسيمات الخشنة إلى الأنواع ذات الفعالية العالية (نوع فنتوري) التي تزيل الجسيمات

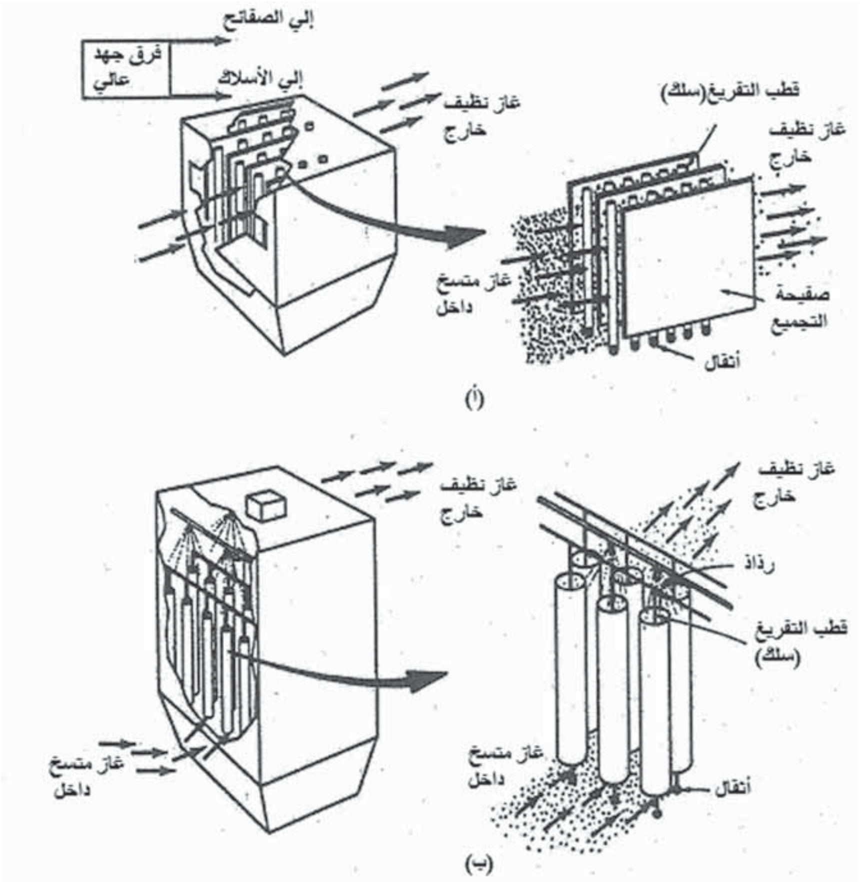
الدقيقة. وأياً كان النوع المستخدم، فإن هذه المنقيات تعمل بنفس الطريقة التي تعتمد في الأساس على صدم جسيمات الغبار أو إعتراضها ثم صدمها بواسطة قطرات الماء. إذ إن قطرات الماء الأضخم والأثقل يسهل فصلها من الغازات بفعل الجاذبية. يمكن بعد ذلك أن تفصل الجسيمات الصلبة من الماء بصورة مستقلة، كما يمكن أن تعالج المياه بطريقة أخرى قبل أن يعاد استخدامها، أو يتم تفريغها. تؤدي الزيادة في سرعة الغاز أو في سرعة قطرات السائل في المنقي من الفعالية بسبب الزيادة في وتيرة التصادم في وحدة الزمن. وللحصول على التنقية الرطبة القصوى ذات فعالية التجميع الأعلى، نستخدم منقي فنتوري. يعمل منقي فنتوري باستخدام سرعات عالية جداً من الغاز ومن السائل مع وجود قطرة ذات إنخفاض ضغط عالٍ عند حلق فنتوري (إنظر الشكل 4.16). لمنقيات فنتوري فعالية أفضل في إزالة المواد الحبيبية التي يتراوح حجم حبيباتها بين 0.5 إلى 5 ميكروميتر، الشيء الذي يجعلها فعالة بصورة خاصة في إزالة الجسيمات التي يقل حجمها عن الميكروميتر والتي ترتبط بالدخان والأبخرة.

وعلى الرغم من أنها تشغل مساحة صغيرة نسبياً، وتكلفة شرائها منخفضة، ويمكنها أن تتحمل درجات الحرارة المرتفعة والتيارات الغازية ذات الرطوبة العالية، إلا أن الطاقة اللازمة لتشغيلها وتكلفة صيانتها عاليتان، كما أنها قد تتسبب في مشكلة تصريف مياه، ومشاكل تآكلها أكبر من المشاكل المناظرة في الأجهزة الجافة، كما أن منتجها النهائي يجمع وهو مبتل.

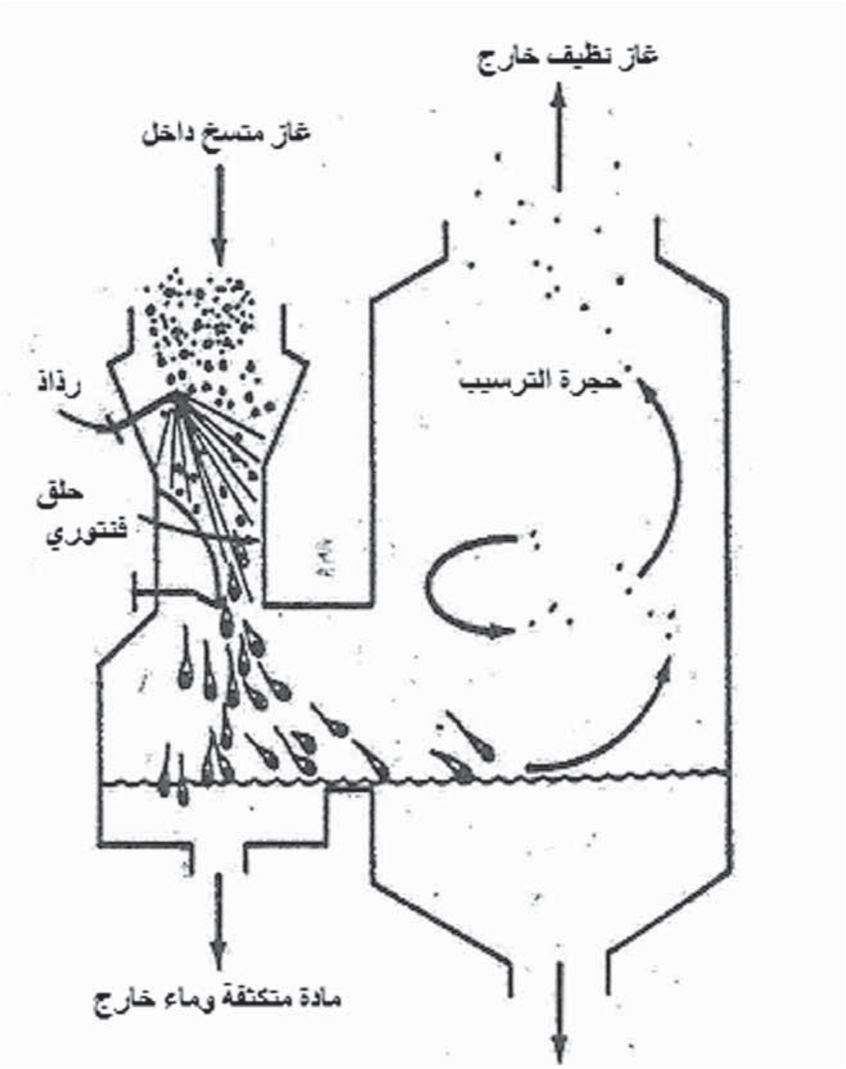
مرشحات الأكياس (القماشية): Baghouse (Fabric) Filters

منقيات الأكياس هي أكثر أنظمة تنقية الغازات شيوعاً. بطريقة المكنسة الكهربائية ذاتها تقريباً، تُشَكِّل المادة القماشية المرشِحة، والتي تملك القدرة على إزالة معظم الجسيمات التي يبلغ قطر بعضها 0.5 ميكروميتر ويبلغ قطر الكثير منها 0.1 ميكروميتر، في هيئة كيس أو مظروف إسطواني ثم تعلق في

صندوق (إنظر الشكل 7.14). يجبر الغاز المحمل بالحبيبات على عبور المرشِح القِماشي، ومع مرور الهواء عبر القماش، تتراكم الحبيبات على السطح القماشي في حين ينتج تيار الهواء المنظف. مع تراكم الحبيبات على السطح الداخلي للأكياس يتناقص الضغط. تتوجب إزالة بعض من الطبقات الحبيبية من الأكياس قبل أن يتناقص الضغط بصورة حادة. كما ينبغي إزالة الحبيبات بصورة منتظمة من القماش عن طريق الخض أو عن طريق عكس إنسياب الهواء. يسهل تشغيل المرشحات القماشية، كما أنها توفر فعالية كلية مرتفعة (تصل إلى ما يفوق 99%)، ولها، كذلك، فعالية جيدة في التحكم في الجسيمات التي يقل قطرها عن الميكروميتر، إلا أنها لا تخلو من العيوب. تشمل هذه العيوب تكلفة الشراء والصيانة (إستبدال الكيس وغير ذلك) الباهظتين، وشغلها لمساحة كبيرة من الفراغ، إضافةً إلى مخاطر الحريق الذي يمكن أن تتسبب فيه بعض أنواع الغبار.



الشكل 5.14 المرسب الكهروستاتيكي (أ) النوع الطبقي و(ب) النوع الأنبوبي إي بي أي. تقنيات التحكم في الغازات والمواد الحبيبية، 1971



الشكل 6.14 منقي الغاز الرطب (البخاخ)
إي بي أي. تقنيات التحكم في الغازات والمواد الحبيبية، 1971

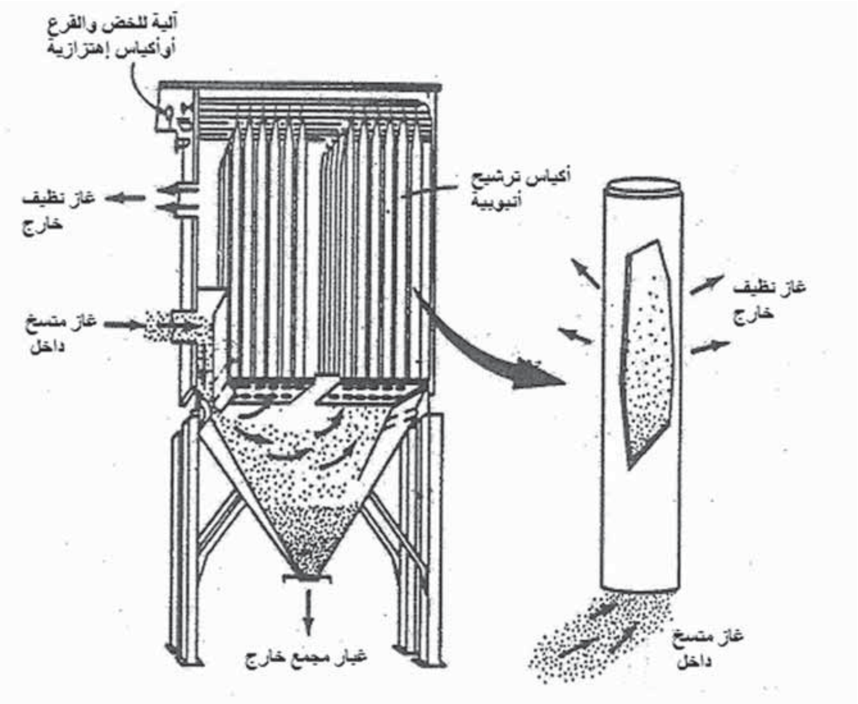
إزالة الملوثات الغازية: المصادر الثابتة

Removal of Gaseous Pollutants: Stationary Sources

الغازات الذي تعنينا في شأن التخلص من الملوثات الغازية هي أكاسيد الكبريت (SO_x)، وأكاسيد الكربون (CO_X)، وأكاسيد النتروجين (NO_X)، والغازات الحمضية العضوية وغير العضوية، والهيدروكربونات (HC). تتوفر في الوقت الحالي أربع طرائق رئيسية للتحكم في هذه الغازات وفي الإنبعاثات الغازية الأخرى: الإمتصاص، والإدمصاص، والتكثيف والإحتراق (الترميد).

إتخاذ قرار بخصوص استخدام تقنية منفردة أو تقنيتين مجمعتين للتحكم في تلوث الهواء من المصادر الساكنة ليس بالقرار السهل دائماً. يمكن التحكم في الملوثات الغازية باستخدام مجموعة متنوعة من الأجهزة، كما أن استخدام التقنية الأكثر فعالية، والأكثر توفيراً للنفقات يتطلب الإنتباه للعملية المعينة المراد استخدام الجهاز المحدد فيها. وبصورة خاصة، يعتمد اختيار تقنية التحكم على الملوث أو الملوثات المراد إزالتها، وفعالية الإزالة المطلوبة، وخصائص الملوث والتيار الغازي، وخصائص الموقع (بيفي Peavy وروي Rowe وتكوبانغلوس Tchobanglous، 1985).

عند إتخاذك للقرار الصعب والمعقد، أحياناً، حول أي من تقنيات التحكم تستخدم، إتبع الموجهات التي وضعها بونيكور (Buonicore 1992)، في الكتاب الهندسي الرفيع: "دليل هندسة التحكم في التلوث". يلخص: الجدول 2.14 هذه الموجهات.



الشكل 7.14 نموذج لتصميم منقي قماشي بسيط
إي بي أي. تقنيات التحكم في الغازات والمواد الحبيبية، 1971

الإمتصاص Absorption

الإمتصاص، أو التنقية، هي عملية وحدة هندسة كيميائية رئيسية تتضمن جعل الغاز الخارج يتماس مع سائل ماص بحيث يذاب غاز واحد أو أكثر من الغازات الخارجة بصورة إنتقائية في السائل غير المتطاير بصورة نسبية.

تصمم وحدات الإمتصاص بحيث تنقل الملوث من الطور الغازي إلى الطور السائل. تتمكن وحدة الإمتصاص من إنجاز هذه المهمة بجعلها الغاز والسائل يتماسان بشدة، الشيء الذي يوفر أفضل إنتشار للغاز في المحلول. تحدث إزالة الملوث من التيار الغازي في ثلاث خطوات: (1) إنتشار الغاز إلى سطح

السائل، (2) الإنتقال عبر السطح البيني بين الغاز والسائل، و(3) إنتشار الغاز المذاب بعيداً من السطح البيني إلى داخل السائل (ديفيز Davis وكورنل 1991Cornell).

تتوفر عدة أنواع من أجهزة الإمتصاص، وتشمل هذه حجرات الرذاذ وأبراج وأعمدة الرذاذ، أبراج الأطباق أو أبراج الصواني، الأبراج المعبأه، ومنقيات البخاخ. تشمل الغازات التي يتحكم فيها عادةً بالإمتصاص ثاني أوكسيد الكبريت، وكبريتيد الهيدروجين، وكلوريد الهيدروجين، والنشادر، وأكاسيد النتروجين.

الجدول 2.14 مقارنة بين تقنيات التحكم في تلوث الهواء

تقنية المعالجة	التركيز والفعالية	تعليقات
الترميد	(< 100 ppm) فعال بنسبة 90–95% (> 100 ppm) فعال بنسبة 90–95%	قد يحتاج الإحتراق الغير مكتمل تحكماً إضافياً
الإدمصاص بواسطة الكربون	(< 200 ppm) فعال بنسبة +90% (> 1000 ppm) فعال بنسبة +95%	قد تحتاج المواد العضوية المسترجعة معالجةً إضافية–الشيء الذي قد يزيد من التكلفة
الإمتصاص	(< 200 ppm) فعال بنسبة 90–95% (> 200 ppm) فعال بنسبة +95%	هل من الممكن معالجة التيار المفور عند الموضع؟
التكثيف	(> 200 ppm) فعال بنسبة 80%	يجب أن تكون درجة الحرارة مرتفعة أو أن يكون الضغط مرتفعاً للحصول على فعالية مرتفعة

ملحوظة: في العادة، يمكن لتنقيات الترميد والإمتصاص فقط أن تتخلص من الملوثات الغازية بنسبة تفوق 99% بصورة منتظمة (بونيكور 1992، 15).

أبراج الأطباق والأبراج المعبأة هي أكثر وحدات الإمتصاص استخداماً في الوقت الحاضر. تحتوي أبراج الأطباق على أطباق أو صواني أفقية متقبة

صممت بحيث توفر مساحات بين–سطحية كبيرة. وعادةً ما يدخل تيار الغاز الملوث من أحد جانبي قاع البرج أو العمود ثم يرتفع إلى أعلى عبر الثقوب الموجودة في كل طبق؛ يمنع الغاز المتصاعد السائل من أن يتصرف عبر الفتحات بدلاً من أن يخرج عبر الأنبوب السفلي. وتتم المحافظة على التماس بين الهواء والسائل، أثناء إستمرار عملية التشغيل، بينما يخرج الهواء النظيف عبر قمة البرج.

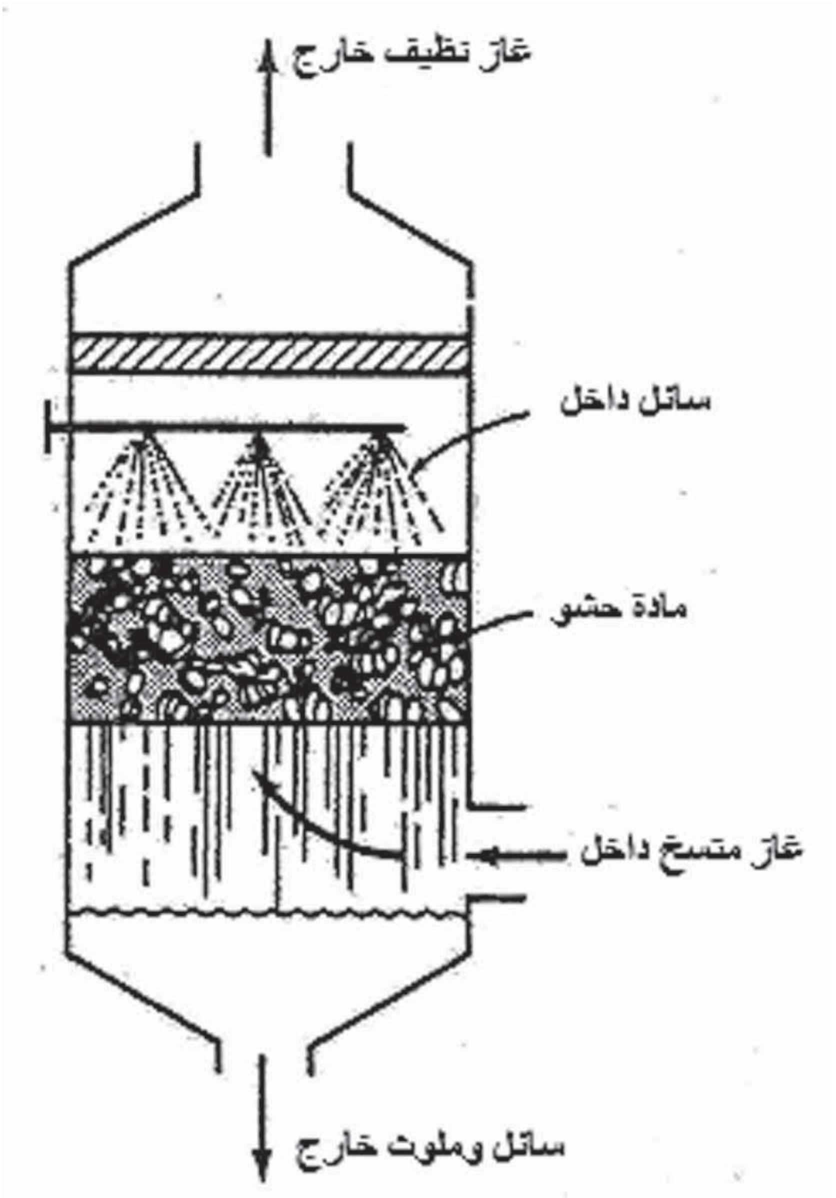
يستخدم نظام البرج المعبأ للتنقية (إنظر الشكل 8.14) بصورة أساسية، للتحكم في الملوثات الغازية في التطبيقات الصناعية، حيث تُظهِر في العادة كفاءة إزالة تصل إلى ما بين 90 إلى 95%. عادةً ما يُنَصَب البرج المعبأ بشكل عمودي (إنظر الشكل 8.14)، يعبأ البرج المعبأ، بصورة حرفية، بالمعدات (إنظر الشكل 9.14، ص...)، كما أن فيه نسبة سطح إلى حجم عالية، ونسبة فجوات عالية توفر أقل مقاومة ممكنة لإنسياب الغاز. إضافة إلى ما سبق، ينبغي للتعبئة أن توفر توزيعاً متساوياً لطوري كلا المائعين؛ وأن تكون متينةً بحيث تسند بعضها البعض في البرج؛ وأن تكون ذات تكلفة منخفضة وأن يسهل التعامل معها (Hesketh 1991). عادة ما يكون الإنسياب عبر البرج المعبأ في إتجاه معاكس للتيار، بحيث يدخل الغاز من أسفل البرج ويدخل السائل من أعلاه. كما ينساب السائل فوق سطح مادة التعبئة في شكل طبقة رقيقة، موفراً بذلك تماساً متواصلاً مع الغازات.

وعلى الرغم من فعاليتها المرتفعة في إزالة الملوثات الغازية، فإن الأبراج المعبأة قد تتسبب في مشاكل تخلص من السوائل، كما أنها قد تنسد حينما تستخدم لتنقية الغازات ذات الحمولة العالية من المواد الحبيبية، كما تكلف صيانتها كذلك مبالغ طائلة.

الإدمصاص Adsorption

عملية الإدمصاص هي عملية إنتقال كتلية تتضمن إمرار تيار الغاز الخارج عبر سطح من المواد الصلبة المجهزة (الممتزات). تجتذب أسطح المادة المسامية الصلبة الغازات (المادة المدمصة) وتحافظ عليها إما عن طريق الإدمصاص الكيميائي أو الفيزيائي. في عملية الإدمصاص الفيزيائي (physical adsorption) (و هي عملية يمكن عكسها بسهولة) تلتصق جزيئات الغاز على سطح المادة الصلبة بسبب عدم إتزان توزيع الإلكترونات.

في الإدمصاص الكيميائي (chemical adsorption) (وهي عملية لا تنعكس بسهولة)، ما أن تلتصق جزيئات الغاز على السطح حتى تتفاعل معه كيميائياً.



الشكل 8.14 نموذج لبرج معبأ به إنسياب للتيار للعكسي
إي بي أي. تقنيات التحكم في الغازات والمواد الحبيبية، 1971

تمتلك بعض المواد خواصاً إدمصاصية. تشمل هذه المواد الكربون المنشط، والألومينا، وفحم العظام، والمغنيزيا، وجل السيليكا، والمصافي الجزيئية، وكبريتات السترونشيوم، وغيرها. يعد الفحم المنشط أهم المواد المدمصة في عملية التحكم في تلوث الهواء. إذ إن للمنطقة السطحية في الفحم المنشط مقدرة إنتقائية على إدمصاص الأبخرة الهيدروكربونية والمواد العضوية ذات الرائحة من تيار الهواء. في عملية الإدمصاص، على العكس من عملية الإمتصاص التي تزال فيها الملوثات بإستمرار من السائل المنساب، تظل المادة الملوثة موجودة في طبقة الإدمصاص. أكثر أنظمة الإدمصاص شيوعاً هو مدمص الطبقة المثبتة، والذي يمكن إحتواؤه في صدفة أسطوانية أفقية أو رأسية. توضب المادة المدمصة (و التي عادةً ما تكون هي الكربون المنشط) في شكل طبقات يبلغ سمكها 0.5 بوصة على طبقات أو صواني. يمكن ترتيب عدة طبقات كما هو موضح في الشكل 10.14 (ص...). وفي أنظمة الطبقات المتعددة، تدمص طبقة واحدة أو أكثر الأبخرة، بينما يتم إعادة تكوين الطبقات الأخرى. عند بداية التشغيل، تقارب فعالية معظم المدمصات نسبة 100%، وتظل عاليةً إلى أن يتم الوصول إلى نقطة الإنكسار أو نقطة الفتح. حينما تتشبع المادة المدمصة بالمادة التي يتم إدمصاصها، يبدأ الملوث في التسرب خارجاً من الطبقة التي تم إدمصاصه عليها، دالاً بذلك على ضرورة إعادة تجديد المادة المدمصة.

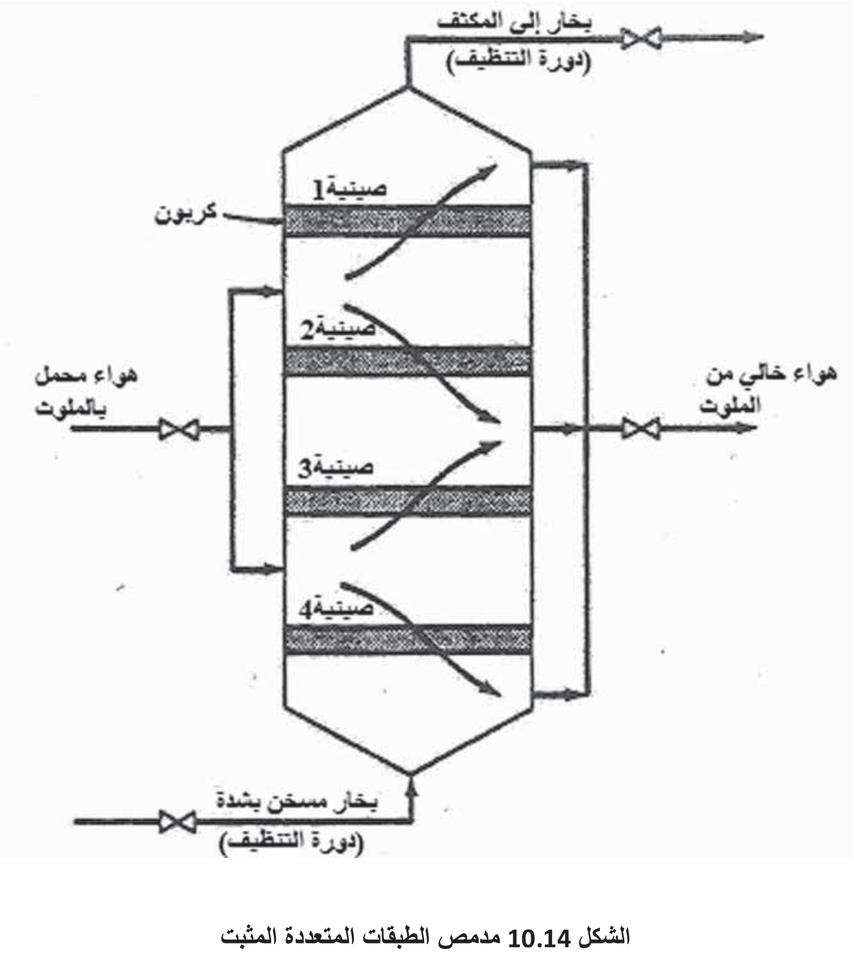
وعلى الرغم من أن أنظمة الإدمصاص هي أجهزة ذات فعالية عالية قد تسمح بإستعادة المنتج، وبها إمكانية تحكم واستجابة عالية للتغير في العملية، ولها المقدرة على العمل من دون أن يقف عليها أحد، إلا أن فيها بعض العيوب. تشمل هذه العيوب، الحاجة لأنظمة استخلاص مكلفة في حالة الإحتياج

لاستعادة المنتج، وتكلفة شراء مرتفعة، كما أنه يُحتاج لترشيح التيار الغازي قبلاً (لإزالة أي مادة حبيبية يمكن أن تسد الطبقة المدمصة).

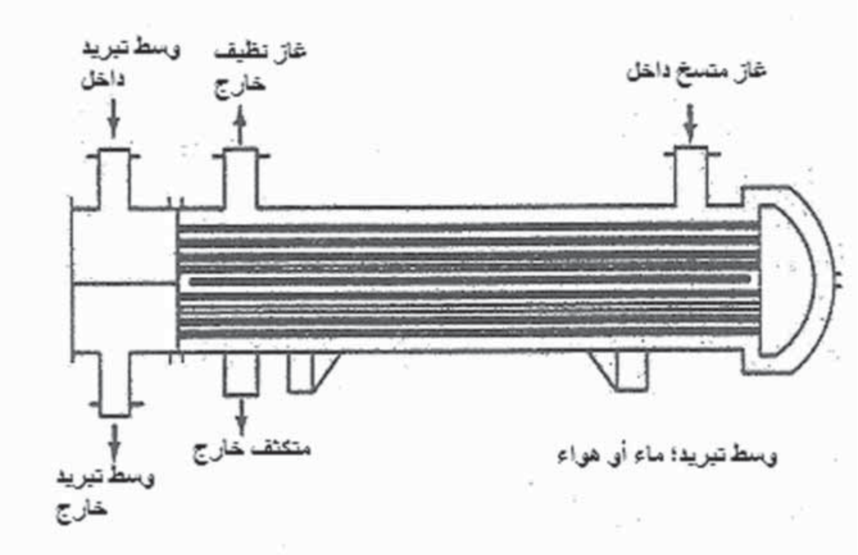
الشكل 9.14 أنواع العبوات المختلفة المستخدمة في منقيات الغاز من نوع الأبراج المعبأة الإتحاد الأمريكي لصناعة التعقيم. دليل التحكم في تلوث الهواء، الجزء الثاني. 1986.

التكثيف Condensation

التكثيف هو العملية التي تزال فيها الغازات المتطايرة من التيار الغازي وتحول إلى سائل. يمكن استخدام المكثف في عمليات التحكم في تلوث الهواء بطريقتين: إما للمعالجة القبلية من أجل تخفيف مشكلة الحمل على معدات التحكم في التلوث الأخرى، أو للتحكم الفعال في الملوثات الغازية أو البخارية.



الشكل 10.14 مدمص الطبقات المتعددة المثبت
إي بي أي دليل هندسة تلوث الهواء، 1973



الشكل 11.14 مكثف سطحي
إي بي أي تقنيات التحكم في الغازات والمواد الحبيبية، 1971.

تكثف المكثفات الأبخرة إلى الطور السائل إما عن طريق زيادة ضغط النظام من دون أي تغيير مصاحب في درجة الحرارة، أو بإنقاص درجة حرارة النظام بحيث تصل إلى درجة التشبع من دون حدوث تغيير في الضغط. تتأثر عملية التكثيف بمكونات التيار الغازي الملوث. وحينما توجد (لسبب ما) غازات تتكثف تحت ظروف مختلفة من تلك الموجودة في التيار الغازي، فإن عملية التكثف تصبح متعذرة.

يتوفر في العادة نوعان من معدات التكثيف– المكثفات السطحية ومكثفات التماس. المكثف السطحي هو في العادة مبادل حراري يتكون من صدفة وأنبوبة (إنظر الشكل 11.14) يستخدم وسط تبريد من الهواء أو الماء بحيث يفصل البخار المتكثف من الوسط المبرد بواسطة جدار معدني. ينساب المبرد عبر الأنابيب، في حين يمرر البخار ويتكثف على السطح الخارجي للأنبوب، ويتم

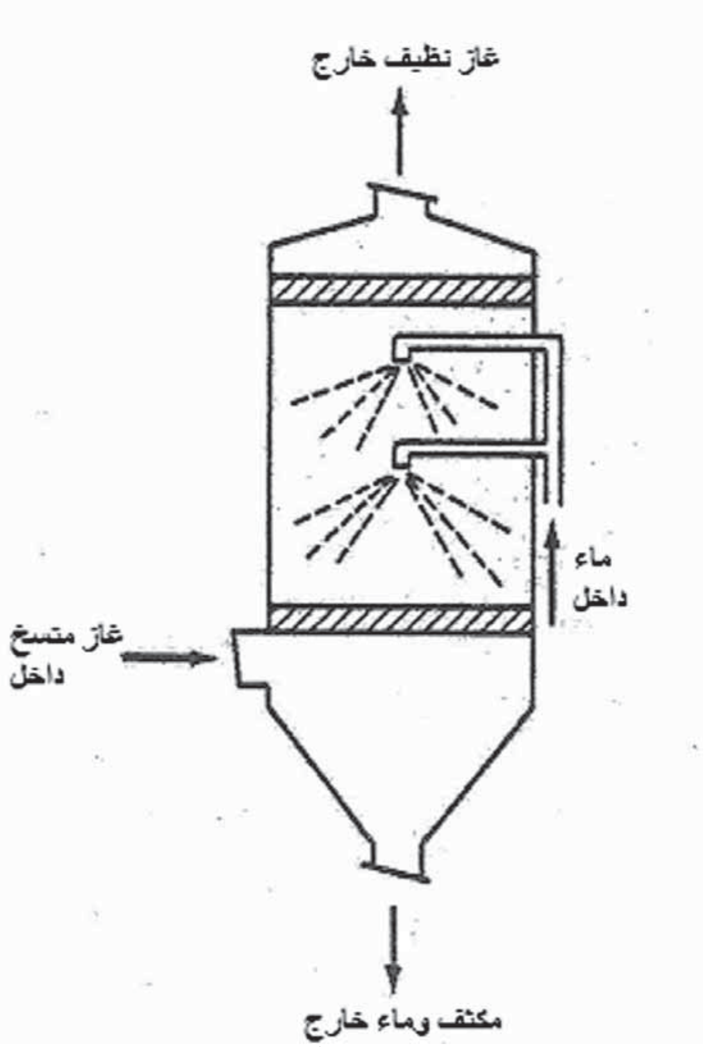
تصريفه للخارج بعد ذلك (إي بي أي 1971). في مكثف التماس (الذي يشبه منقي الرش البسيط)، يبرد البخار بالرش بالسائل مباشرة على تيار البخار (إنظر الشكل 12.14). يتكثف البخار المُبَرَّد، ثم تتم إزالة خليط الماء والمادة المتكثفة ومعالجته والتخلص منه. وبصورة عامة، تعتبر مكثفات التماس أقل تكلفةً، وأكثر مرونة وبساطة عند مقارنتها بالمكثفات السطحية، إلا أن هذه الأخيرة تحتاج كمية مياه أقل، كما تنتج كمية أقل بكثير من مياه الصرف التي تتوجب معالجتها مما عليه الحال في مكثفات التماس. تستخدم المكثفات على نطاق واسع في التطبيقات الصناعية، التي تشمل تَصفية النفط، والتصنيع البتروكيميائي، والتصنيع الكيميائي الأساسي، والتنظيف الجاف، وإزالة الشحوم.

الاشتعال Combustion

على الرغم من أن الاشتعال (أو الترميد)، هو ذاته مصدر رئيسي من مصادر تلوث الهواء، فإن هذه العملية، إذا ما أجريت بصورة صحيحة، بمقدورها العمل كنظام مفيد في مكافحة التلوث التي يهدف فيها إلى تحويل ملوثات هوائية بعينها (CO وبعض الهيدروكربونات) إلى مواد غير ضارة مثل ثاني أوكسيد الكربون والماء (EPA، 1973).

تُعرَف عملية الاشتعال بأنها عملية كيميائية سريعة تحدث فيها عملية أكسدة عند درجة حرارة عالية. يصمم جهاز الاشتعال لكي يدفع عملية الأكسدة نحو الإكتمال بأقصى درجة ممكنة، ولكي يخلف وراءه الحد الأدنى من البقايا غير المحترقة. أي عملية احتراق، يُتَحَكم فيها بأربعة متغيرات: الأوكسجين، ودرجة الحرارة، والإضطراب (Turbulence)، والزمن. ولكي تكتمل عملية الاشتعال، لا بد من توفر الأوكسجين ولا بد من التماس معه عند درجة حرارة كافية، كما ينبغي الحفاظ على درجة الحرارة هذه لفترة زمنية كافية. لا تستقل هذه المتغيرات الأربع عن بعضها البعض، وتغيير واحد منها يغير من بقيتها.

إعتماداً على نوعية الملوث الذي تتم أكسدته، يمكن تقسيم الأجهزة التي تستخدم في التحكم في الغازات الملوثة إلى ثلاثة أصناف: إلاشتعال اللهبي المباشر (أو التوهج)، الاشتعال الحراري (المواقد الخلفية)، والاشتعال الحفزي.

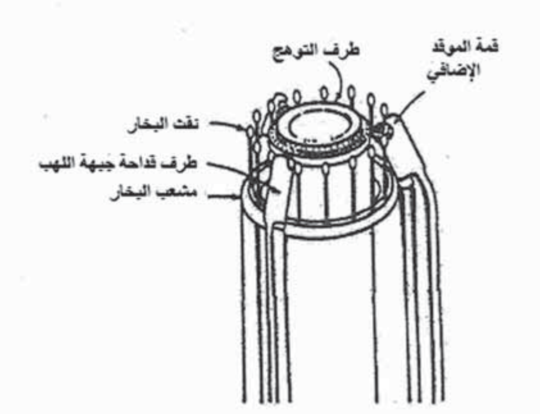


الشكل 12.14 مكثف التماس
إي بي أي. تقنيات التحكم في الغازات والمواد الحبيبية، 1971

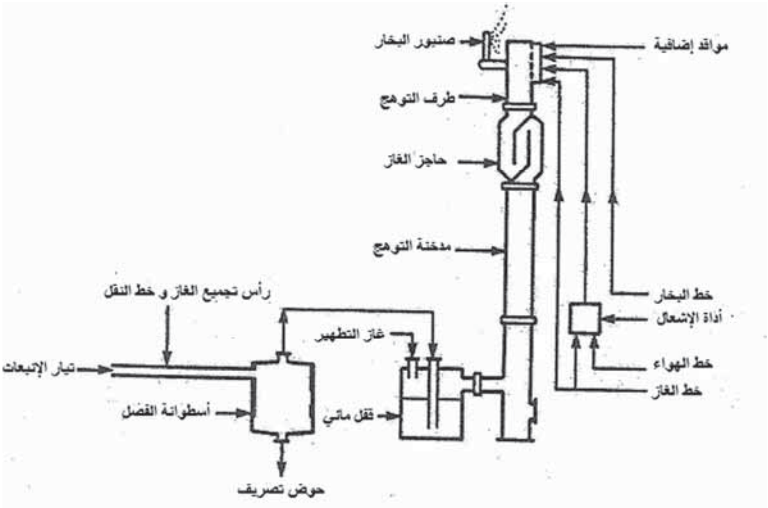
الاشتعال اللهبي المباشر (التوهج)

Direct flame combustion (flaring)

أجهزة الاشتعال اللهبية المباشرة (المتوهجاتflares) هي أكثر الأجهزة التي يتم فيها حرق الغازات الملوثة بصورة مباشرة، وبالتالي التحكم في تلوث الهواء (باستخدام وقود إضافي أو بدونه). تشمل أنواع المتوهجات تلك المدعومة بالبخار، والمدعومة بالهواء، وأجهزة رؤوس الضغط. وعادة ما يوضع التوهج عند إرتفاع يصل إلى ما بين 100–400 قدم لكي يحمي الوسط المحيط به من الحرارة ومن ألسنة اللهب. **المتوهجات** والتي تصمم بحيث يتم حقنها عند قمة الشعلة (إنظر الشكل 13.14)، عادة ما تستخدم البخار لهذا الغرض، الشيء الذي يوفر إضطراباً كافياً لضمان اكتمال الإحتراق، وهو الشيء الذي يمنع بدوره إنتاج أي دخان أو سناج. التوهجات مزعجة عادة الأمر الذي يمكن أن يتسبب في إزعاج الجوار، كما يمكن للتوهجات أن تنتج أكاسيد النتروجين، مولدةً بذلك ملوث هواء جديد. يوضح الشكل 14.14 نظام توهج مدعم بالبخار يشيع استخدامه في الصناعة.



الشكل 13.14 صورة عن قرب لرأس توهج من النوع الذي يتم فيه حقن البخار EPA. تقنيات التحكم في الغازات والمواد الحبيبية، 1971



الشكل 14.14 مخطط توضيحي لنظام توهج مدعم بالبخار
إي بي أي، دليل-تقنيات التحكم في ملوثات الهواء الخطرة، 1986.

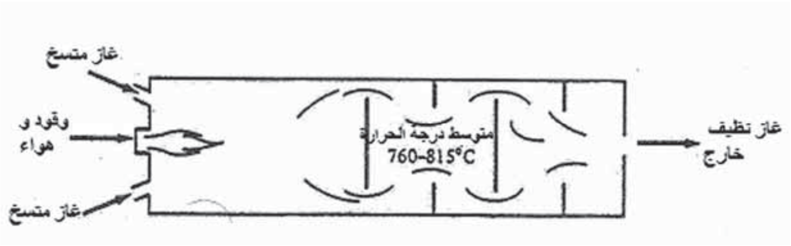
الاشتعال الحراري (المواقد الخلفية) After burners

يمثل المرمد الحراري، أو الموقد (أو الحارق) الخلفي الوحدة المفضلة في الحالات التي يكون فيها تركيز الغاز الملوث القابل للإشتعال منخفضاً جداً بحيث لا يتمكن من أن يكون جسيمات متوهجة. نظام الإحتراق الحراري المستخدم على نطاق واسع في الصناعة، يشتغل عادةً عند درجات الحرارة العالية. في داخل المرمد الحراري، يمر تيار الهواء الملوث حول وعبر الموقد إلى أن يدخل إلى حجرة الخط المقاوم للصهر حيث تحدث عملية الأكسدة (إنظر الشكل 15.14). للغاز المنبعث من أنبوب مدخنة المرمد الحراري، النظيف نسبياً، درجة حرارة عالية كما يحتوي على طاقة حرارية يمكن إسترجاعها. يوضح الشكل 16.14 رسماً توضيحياً لنظام مرمد حراري نموذجي.

الاشتعال الحفزي Catalytic combustion

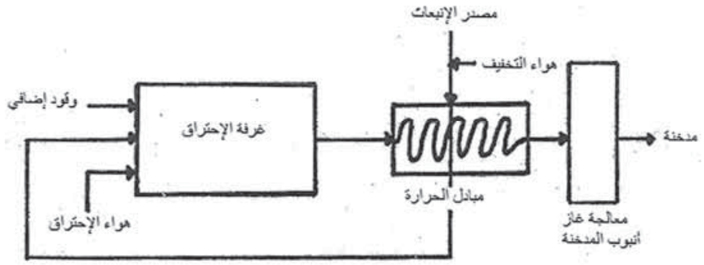
يعمل الإحتراق الحراري عن طريق إمرار التيار الغازي المحمل بالمادة الملوثة عبر طبقة حفزية (وهي في العادة سجادة مشبكة أو تركيبة مسدسة أو هيئة أخرى تكسى بطبقة رفيعة من البلاتين وتصمم بحيث تزيد من مساحة السطح) تزيد من وتيرة تفاعلات الأكسدة عند درجات الحرارة المنخفضة (إنظر الشكل 17.14). يستخدم العامل الحفاز الفلزي لكي يبتدر عمليات الإحتراق عند درجات حرارة تقل بكثير عن تلك التي يحتاجها الإحتراق الحراري (عناصر عائلة البلاتين معروفة بتحفيزها لعملية الإحتراق عند درجات الحرارة المنخفضة). ويوضح الشكل 18.14 مرمداً حفزياً. يعد المبادل الحراري خياراً لأنظمة الإنتقال الحراري بين تيارين غازيين (تبادل الحرارة التعويضي). تعتمد الحاجة لهواء التخفيف، وهواء الإحتراق، و/أو معالجة غاز أنبوب المدخنة على الظروف الخاصة بكل موضع. تتعرض العوامل الحفازة للتدهور الكيميائي والفيزيائي، كما تحد المركبات المحتوية على الكبريت من فائدتها. ولكي تؤدي أسطح العوامل الحفازة مهمتها على أفضل وجه، ينبغي لها أن تكون نظيفةً ونشطة.

يستخدم الترميد الحفزي في العديد من الصناعات من أجل معالجة الغازات الخارجة، التي تشمل الإنبعاثات الناتجة من الأفران المستخدمة في تحميص الطلاء، وتلك الناتجة من أكسدة الأسفلت، وأفران الفحم، ومن تصنيع الفورمالدهيد، ومن إعداد الورنيش.

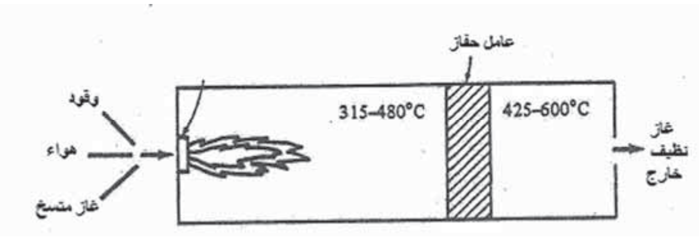


الشكل 15.14 المرمد الحراري

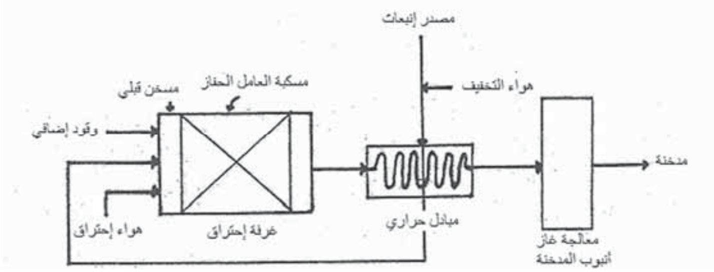
EPA تقنيات التحكم في الغازات والمواد الحبيبية، 1971



الشكل 16.14 رسم تخطيطي لنظام مرمد حراري
آر، أي، كوربت. المرشد المعياري للهندسة البيئية. ص 4.70، 1990.



الشكل 17.14 مرمد حفزي
إي بي أي. تقنيات التحكم في الغازات والمواد الحبيبية، 1971



الشكل 18.14 رسم تخطيطي لنظام مرمد حفزي
آر، أي، كوربت. المرشد المعياري للهندسة البيئية. ص 4.70، 1990.

الجدول 3.14 ميزات المرمدات الحفزية مقارنةً بالمرمدات الحرارية

1	للمرمدات الحفزية متطلبات وقود أقل
2	للمرمدات الحفزية متطلبات درجة حرارة تشغيل أقل
3	لا تحتاج المرمدات الحفزية متطلبات عزل قليلة أو لا تحتاج لعزل بالمرة
4	تتعرض المرمدات الحفزية لمخاطر إحتراق أقل
5	للمرمدات الحفزية مشاكل إرتداد أقل

مأخوذ من أي. جي. بونيكور ودبليو. تي. ديفيز. دليل هندسة تلوث الهواء، 1992

إزالة الغازات الملوثة: المصادر المتحركة

Removal of Gaseous pollutants: Mobile Sources

تشمل المصادر المتحركة للملوثات الغازية السيارات والطيارات والسفن، إلا أن السيارات تفوق غيرها بكثير من حيث مجموع الإنبعاثات وموقعها بالنسبة إلى البشر وبالرجوع إلى التقرير الثاني عشر لمجلس الجودة البيئية(1982)، فإننا نجد أن النقل يتسبب بنسبة 55% من كل الملوثات الهوائية المنبعثة التي انبعثت إلى الجو في العام 1980. في العام 1986 كان يوجد في الولايات المتحدة الأمريكية أكثر من 140 مليون علبة تستهلك أكثر من مليار جالون من الوقود. تشمل هذه الإنبعاثات 58% تقريباً من مجموعة إنبعاثات أول أوكسيد الكربون و38% من الرصاص و34% من أوكسيد النيتروجين و27% من المركبات العضوية المتطايرة (VOC) و16% من المواد الحبيبية (USEIA 1988؛إي بي أي 1988).

وبسبب المستويات المرتفعة من إنبعاثات الملوثات من السيارات، أصبحت معايير الإنبعاثات أكثر تشدداً في الولايات المتحدة. تحت تأثير قانون الهواء النظيف للعام 1970، على سبيل المثال، أجبرت معايير الإنبعاثات من المركبات المصنعين على تطوير تقنية التحكم الجديدة للتأكد من إمتثال مركباتهم للمعايير القياسية للإنبعاثات.

يمكن حل مشاكل التلوث من المصادر المتحركة بإحدي طريقتين:إستبدال مكائن الإحتراق الداخلي(بالطاقة الكهربائية أو باستخدام المواصلات العامة)، أو عن طريق أنظمة التحكم المباشرة في التلوث. إن عملية الإستبدال غير متوفرة في الوقت الحالي والتقنية ذات الصلة بهذا الشأن مازالت في مهدها. وحتى لو كانت التقنيات متاحة حالياً لعملية الإستبدال، فإن عملية الإستبدال هذه ستكون من الصعوبة بمكان. أنظمة التحكم المباشرة في الملوثات(تلك التي تتحكم في الإنبعاثات الناتجة من علبة المرافق، والكربريتر، وخزان الوقود، والعادم) هي مانعتمد عليه.

التحكم في إنبعاثات عُلبة المرافق

Control of Crankcase Emissions

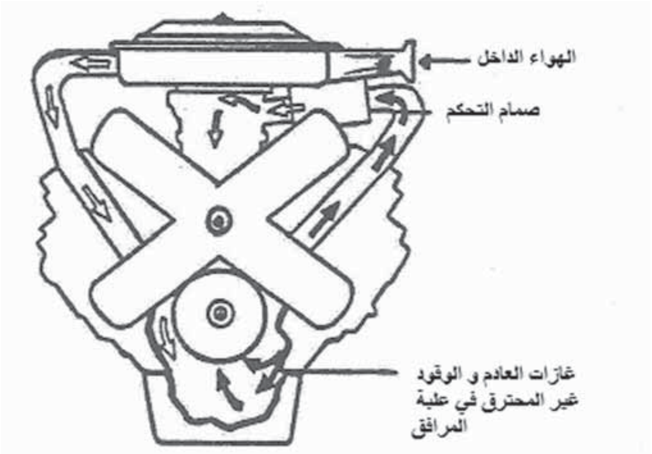
يمكن التحكم في إنبعاثات علبة المرافق (Crankcase) بتقنية تسمى التنفيس الإيجابي لعلبة المرافق. في تقنية التحكم هذه، يتم إعادة تدوير الغازات الهيدروكربونية (الغازات التي تعبر حلقات المكبس وتمر إلى علبة المرافق) إلى علبة الإحتراق من أجل إعادة الإحتراق(أنظر الشكل 19.14). قَدرت الإدارة الوطنية للتحكم في تلوث الهواء (1970) ان نظام استخدام التنفيس الإيجابي لعلبة المرافق خفف من الإنبعاثات الكربونية إلى مستويات منخفضة جداً يمكن تجاهلها.

التحكم في الإنبعاثات التبخرية Control of Evaporation Emissions

تنتج التغيرات في درجة حرارة الوسط المحيط (الفقدان النهاري)، والنقع الساخن، وخسائر التشغيل، والإنبعاثات التبخرية. تتسبب التمددات في خليط الهواء والوقود في خزانات الوقود المملوءة جزئياً في الفقدان النهاري، الشيء الذي يتسبب في طرد بخار الجازولين إلى الجو. تحدث إنبعاثات النقع الساخن بعد إيقاف المحرك عند ماتتسبب حرارته في التبخر المتزايد للوقود. تحدث خسائر التشغيل أثناء القيادة عندما يتم تسخين الوقود بواسطة سطح الطريق، إذ يجبر حينها الوقودعلى الخروج من خزان الوقود حينما تشغل السيارة ويصبح خزان الوقود ساخناً. في العام1971، كان الإجراء المباشر للتحكم في الإنبعاثات هو تنصيب علبة مليئة بالفحم المنشط لتقوم بعملية إدمصاص الإنبعاثات الهيدروكربونية . تشفط الأبخرة التي يتم إدمصاصها من الفحم وتذهب إلى المحرك أثناء ظروف التشغيل التي تستهلك طاقة عالية. في كاليفورنيا، تخفف أنظمة التحكم في الأبخرة الموجودة في محطة الخدمة من إمكانية فقدان الأبخرة أثناء عملية إعادة التزود بالوقود (بيركنز 1974).

المحولات الحفزية Catalytic Converters

بدءاً من العام1975 ألزمت جميع السيارات في الولايات الأمريكية المتحدة بتركيب محولات حفزية من أجل الإيفاء بالمعايير القياسية الاكثر تشدداً لانبعاثات الأنبوب الخلفي. تستخدم ثلاث محولات حفزية لهذا الغرض: المؤكسدة، والمختزلة، وذات الثلاث طرق. يسرد الجدول 4.14 خصائص كل واحدة من هذه المحولات الحفزية.



الشكل 19.14 تنفيس علبة المرافق الإيجابي لغازات الإحتراق المتسربة
مأخوذ من: (T.Godish. Air Quality, 1997, p 290).

الجدول 4.14 أنواع المحولات الحفزية

المحول الحفزي المؤكسد	يعمل على تسريع إكتمال أكسدة أول أوكسيد الكربون والهيدروكربونات بحيث يحول أول أوكسيد الكربون إلى ثاني أوكسيد الكربون وبخار الماء. يقوم البلاتين والبلاديوم بعملية الحفز. يمكن للرصاص أن يسمم هذين المحولين؛ لذلك يمكن فقط استخدام الجازولين الخالي من الرصاص مع هذا النوع من المحولات الحفزية
المحول الحفزي المختزل	يستخدم الروديوم والروثينيوم من أجل تسريع إختزال NO_X إلى N_2
المحول الحفزي ذو الطرق الثلاثة	هو المحول المفضل لمصنعي السيارات في الولايات المتحدة لأنه يمكنهم من الإيفاء بإشتراطات قانون الهواء النظيف. ويؤكسد الهايدروكربونات وأول أوكسيد الكربون إلى ثاني أوكسيد الكربون، في الوقت الذي يختزل فيه NO_X إلى N_2 . هذا المحول فعال في التحكم في الإنبعاثات كما أنه يمتاز بسماحه للمحرك أن يعمل عند الظروف العادية التي تسمح بالحصول على أفضل فعالية وأفضل أداء للمحرك.

مأخوذ من أي، دبليو. دملر. " الحفز في السيارات"، 1977، ص 29، 32.

ملخص الفصل

Chapter summary

بينما تقود القوانين المنظمة الصناعة للعمل على معالجة أخطائها، إلا أن هذه العملية ليست بالعملية الساكنة. إذ أن الناس والصناعة يدفعون هذا الأمر إلى حدوده القصوى بطريقة أو بأخرى. حينما يستحوذ ملوث ما على إهتمامنا، فإنه يخضع إلى القوانين المنظمة ومن ثم يتم التحكم به، وبسبب العمليات الجديدة، والنمو السكاني، ونتائج الإختبارات والتقنيات الجديدة، فإننا نكتشف مشكلات جديدة، أو يصبح بمقدورنا أن ننظف ما لم نستطع تنظيفه من قبل. وتقنية التحكم في الملوثات التي نصنعها تنمو في ما يبدو بالطريقة ذاتها التي تنمو بها حقول المعلومات في عالمنا اليوم. لذا فإن الحاجة لعلماء البيئة الذين يصممون تقنيات جديدة تستوفي المعايير وتحل المشاكل الجديدة لن تذوي بعيداً.

أسئلة المناقشة ومشكلات

Discussions Questions and problems

1. ماهما المقاربتان العامتان في التحكم في الإنبعاثات الملوثة للهواء.

2. ماهي الأجهزة المحددة للتحكم في تلوث الهواء المتوفرة للتحكم في إنبعاثات الحبيبات من مصدرها؟

3. ناقش مزايا وعيوب المجمعات الرطبة.

4. سمِّ وصف ثلاثة أنواع من وحدات الإحتراق المستخدمة في التحكم في تلوث الهواء من المصادر الثابتة.

5. سمِّ وصف ثلاثاً من الأجهزة المستخدمة للتحكم في إنبعاثات السيارات.

6. متى يصبح استخدام أكياس الحقائب مرغوباً فيه بالمقارنة مع المرسبات الكهروستاتيكية لجمع الرماد المتطاير من أبخرة دخان المعادن التي تستخدم الفحم؟

7. ماهي الظروف التي يمكن عندها استخدام الترميد بالتوهجات؟

8. لماذا تستخدم مواد الحشو في أنظمة إزالة الكبريت من غازات أنابيب المداخن؟

9. إشرح المقصود بغازات الإحتراق المتسربة.

10. ماهي مزايا وعيوب المكثفات؟

مواضيع أبحاث مقترحة ومشاريع
Suggested Research Topics and Problems

- تفحص إستجابات مجتمع بعينه توضح إعتبارات بونكري لسن القوانين المنظمة.

- تفحص الخيارات الأربعة المتاحة للتحكم في الإنبعاثات.

- ألقِ نظرة على قضايا "ليس في باحتي الخلفية" البيئية ذات الصلة بالتحكم في تلوث الهواء–المرمدات، أو منشآت تحويل القمامة إلى بخار، أو مصانع الأسمدة على سبيل المثال.

- إستكشف الحلول التي كان يمكن لمصنع سيدار كريك للأسمدة أن يصل إليها للتحكم في إنبعاثاته.

- أجرِ بحثاً عن نوع واحد من المواد الحبيبية الجافة. ثم اختر أفضل طرق معالجته، وأشرح سبب تفضيلك لهذه الطريقة.

- أجرِ بحثاً عن مشاكل التخلص من الماء ذات الصلة بمنقيات الهواء الرطبة.
- أجرِ بحثاً عن عيوب ونقائص المرشحات الحقائب القماشية.
- أجرِ بحثاً عن المشاكل المرتبطة بمعادلة الإنسياب في جامعات الزوابع.
- تفحص مزايا المرسبات الكهربية.
- تفحص مشاكل التخلص من السوائل ذات الصلة بالأبراج المعبأة.
- تفحص عملية الإدمصاص على الفحم المنشط.
- تفحص مكثفات التماس والمكثفات السطحية، ومزايا وعيوب كل نوع.
- تفحص أوجه الشبه والخلاف، ومزايا وعيوب الأنواع الثلاث من أجهزة الإحتراق.
- تفحص المشاكل المرتبطة بالمصادر المتنقلة للملوثات الغازية.

المراجع المثبتة

Cited References

American Industrial Hygiene Association. *Air Pollution Manual: Control Equipment, Part II*. Detroit: AIHA, 1968.

Boubel, R. W., D. L. Fox, D. B. Turner, and A. C. Stern. *Fundamentals of Air Pollution*. New York: Academic, 1994.

Buonicore, A. J., and W. T. Davis, eds., *Air Pollution Engineering Manual*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

Buonicore, A. J., L. Theodore, and W. T. Davis. *Air Pollution Engineering Manual*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

Cooper, C. D., and F. C. Alley. *Air Pollution Control: A Design Approach*. Prospect Heights, Ill.: Waveland Press, Inc., 1990.

Corbitt, R. A. *Standard Handbook of Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill, 1990.

Davis, M. L., and D. A. Cornwell. *Introduction to Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill, 1991.

Demmler, A. W. "Automotive Catalysis." *Auto Engineer* 85, no. 3 (1977): 29, 32.

EPA. *Air Pollution Engineering Manual*. 2nd ed. AP-40. Research Triangle Park, N.C.: EPA, 1973.

———. *Annual Report of the Environmental Protection Agency to the Congress of the United States in Compliance with Section 202(b)(4), Public Law 90-148*. Washington, D.C., 1971.

———. *Control Techniques for Gases and Particulates*. Washington, D.C.: EPA, 1971.

———. *Handbook—Control Technologies for Hazardous Air Pollutants*. EPA 625/6-86/014. Cincinnati, Ohio: EPA, Center for Environmental Research Information, 1986.

———. *National Air Pollutant Emission Estimates 1940–1986*. Washington, D.C.: EPA,1988.

Godish, T. *Air Quality*. 3rd ed. Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers, 1997.

Hesketh, H. E. *Air Pollution Control: Traditional and Hazardous Pollutants*. Lancaster, Pa.: Technomic Publishing Company, 1991.

National Air Pollution Control Administration. *Control Techniques for Hydrocarbon and Organic Solvent Emissions for Stationary Sources*. Document B, publ. AP-68, Washington, D.C., 1970.

Peavy, H. S., D. R. Rowe, and G. Tchobanglous. *Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill, 1985.

Perkins, H. C. *Air Pollution*. New York: McGraw-Hill, 1974.

Twelfth Annual Report of the Council on Environmental Quality. Washington, D.C., 1982.

U.S. Department of Health, Education, and Welfare (USHEW). *Control Techniques for Particulate Air Pollutants*. Washington, D.C.: National Air Pollution Control Administration, 1969.

U.S. Energy Information Agency (USEIA). *Annual Energy Review 1987*. Washington, D.C.: USEIA, Department of Energy, 1988.

المراجع المقترحة

Suggested References

Brownwell, W. F., and L. B. Zeugin. *Clean Air Handbook*. Rockville, Md.: Government Institutes, 1991.

Brunner, C. R. *Handbook of Incineration Systems*. New York: McGraw-Hill, 1991.

Bubenick, D. V. "Control of Fugitive Emissions." In *Handbook of Air Pollution Technology*, ed. S. Calvert and H. Englund. New York: Wiley, 1984.

Clavert, S. "How to Choose Particulate Scrubber." *Chemical Engineering* 84, no. 18: 54–68.

Clean Air Act Amendments of 1990. Public Law 101–549. 101st Cong. (November 1990).

Control Technology for Hazardous Air Pollutants. Rockville, Md.: Government Institutes, 1992.

Counce, R. M., and J. J. Perona. "Scrubbing of Gaseous Nitrogen Oxides in Packed Towers." *Journal of the American Institute of Chemical Engineers* 29, no. 1 (January 1983): 26–32.

Crawford, M. *Air Pollution Control Theory*. New York: McGraw-Hill, 1976.

Heumann, W. J., ed. *Industrial Air Pollution Control Systems* New York: McGraw-Hill, 1997.

Higgins, T. E., ed. *Pollution Prevention Handbook*. Boca Raton, Fla.: CRC/Lewis Publishers, 1995.

Masters, G. M. *Introduction to Environmental Engineering and Science*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1991.

Powell, J. D., and R. P. Brennan. *The Automobile, Technology and Society*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1988.

Stern, A. C., ed. *Air Pollution, Vols. 1, 2 and 3*. New York: Academic, 1968.

Straus, W. *Industrial Gas Cleaning*. Elmsford, N.Y.: Pergamon, 1966.

Theodore, L., and A. J. Buonicore. *Industrial Air Pollution Control Equipment for Particulates*. West Palm Beach, Fla.: CRC Press, 1986.

———. *Selection, Design, Operation and Maintenance: Air Pollution Control Equipment*. Roanoke, Va.: ETS, 1982.

Vatauk, W. M. *Estimating Costs of Air Pollution Control*. Chelsea, Mich.: Lewis Publishers, 1990.

Vesilind, P. A., and J. J. Pierce. *Environmental Engineering*. Ann Arbor, Mich.: Ann Arbor Science, 1982.

Williamson, S. J. *Fundamentals of Air Pollution*. Reading, Mass.: Addison Wesley, 1973.

الجزء الثالث

جودة المياه

الفصل الخامس عشر

خواص المياه

Characterstics of Water

دم الأرض

Earth’s Blood

توفر البيئة المائية التي تعيش فيها الكائنات الحية وحيدة الخلية الغذاء لهذه الكائنات كما تقوم بإزالة مخلفاتها، وهي الوظيفة التي يقوم بها نظام الدوران (circulating system) لما مجموعه 60–100 تريليون من الخلايا التي تكون جسم الإنسان. يجلب نظام الدوران لكل خلية إمدادها اليومي من الأحماض الأمينية والجلكوز، ويحمل نفايات ثاني أوكسيد الكربون والأمونيا بعيداً،حيث تتم تَصفيتها وتصريفها خارج أنظمتنا عبر التبول والوظائف الإخراجية. يحافظ القلب، وهو مركز الجهاز الدوري،على دوران الدم في مساره المحدد، وهو أمر شديد الضرورة بحيث أننا سرعان ما نتعرض للعطب، ونموت، إذا تعرضت هذه المضخة للعطب.

يفترض البشر في بعض الأحيان، لأنهم لم يعودوا كائنات وحيدة الخلية، أنهم ليسوا بحاجة لبيئة مائية يعيشون فيها؛ ولكنهم لا يلقون بالاً للعالم من حولهم. ففي الواقع، يعتمد أولئك الذين يعيشون على الأرض على نظامها الدوراتي مثلما يعتمدون على أنظمة الدوران الخاصة بهم. ومثلما تعتمد حياتنا على سريان الدماء التي تضخها قلوبنا،و من ثم تدّورها عبر سلسلة من الأوعية، فكذلك تعتمد الحياة على كوكب الأرض، وحياتنا، على دورة المياه الأرضية، وعلى الماء.

تتمتع هذه الدورة بقدر كبير من الحركة الذاتية بحيث أننا عادة ما نتجاهلها. وتماماً مثلما لا نتحكم أو نهتم بقلوبنا ما لم تضطرب نبضاتها، فما لم نواجه بالفيضانات والجفاف، وما لم تفسد الأمطار خططنا، فإننا نتجاهل دورة المياه، مفضلين أن نصدق أن الماء الذي نشربه يأتي من الصنبور، وليس من أعماق باطن الأرض،بعد أن وصل إليها بطريقة لا نفهم منها إلا القليل.و لكن الماء مهم لنا وللأرض مثلما الدم مهم لنا، ودورة المياه المستمرة هي ما يجعل الحياة ممكنة.

لا يضخ دم الأرض، الماء، بواسطة قلب، بل من خلال دورة هيدروليكية، هي الدورة المائية.تعد الدورة المائية، وهي من قوى الطبيعة الجبارة، خارج نطاق تحكمنا – وهي حقيقة نتجاهلها حتى تتغير أنماط الطقس وفجأة تفيض الأنهار المغمورة بالمياه حيثما تشاء وليس في الضفاف التي صمم هندستها البشر، وجدران الفيضانات الصادّة، والسدود، والحواجز. ويعود الماء المتبخر في الدورة المائية، من المحيطات ليسقط مرة أخرى على الأرض في شكل مطر، وجليد ، وبرد ، وثلج، وتستمر الدورة.

في المدن، في الصيف، يسقط المطر على الأسمنت والأسفلت الساخن ويتبخر سريعاً، أو يجري إلى مصارف الأمطار، وليلتحق سريعاً بالدورة المائية. في الحقول، يجلب المطر الرطوبة الضرورية للمحاصيل، ومن ثم يغوص عميقاً داخل الأرض، لينتهي على شكل مياه جوفية. وإذا سقطت الأمطار على منطقة غابية، فإن قبة الأشجار الغابية تكسر من قوة القطرات المتساقطة.كما تحفظ أرضية الغابة المكسوة بالأغصان، والأوراق، والطحالب، والنباتات المتحللة، التربة من الانجراف والتعرية في حين تعود المياه إلى أعماق الأرض، أو تجري فوق الأرض لتلتحق بالمجرى المائي.

وأينما سقطت المياه على سطح الأرض، فإنها تجري في واحد من أربع مسارب، تحمل الماء عبر الدورة المائية كما تحمل الأوردة، والشرايين، والأوردة الشعرية دمائنا للخلايا فالمياه هذه:

قد تتبخر مباشرة إلى الهواء مرة أخرى، أو

قد تجري فوق الأرض إلى مجرى مائي كجريان سطحي، أو

قد تتسرب إلى الأرض وتمتصها النباتات للنتح التبخري، أو

قد تتسرب عميقاً إلى المياه الجوفية

وبغض النظر عن المسار الذي يتخذه الماء، فهناك حقيقة مؤكدة، الماء ديناميكي الحركة، وحيوي، ودائم الحركة. ومثلما أن دم البشر لابد له من أن يستمر في الجريان ، لكي يحافظ على حيواتنا، فلابد لدم الأرض من أن يستمر بالجريان.

أهداف الفصل

Chapter Objectives

بعد دراسة هذا الفصل، يجب أن تكون قادراً على أن:

- تُناقش الكيفية التي أثرت بها الأنشطة البشرية على المسارات التي يتخذها الماء عبر الطبيعة ونتائج ذلك على جودة المياه.
- تُناقش تأثير قانون الماء النظيف (CWA) للعام 1972 على إمدادات المياه، والحالة الراهنة لأمدادنا المائي.
- تُناقش الماء والخواص المطلوب توفرها فيه.
- تُناقش كيفية تأثير الإمداد المائي على السكان.

- تتعرف على المواقع الرئيسية للمياه والنسب التي يمثلها كل موقع في التوزيع العالمي للماء
- تعرف المصدرين الرئيسين للمياه
- تَصِف موقع المياه السطحية في دورة المياه، وتتعرف على المصادر الرئيسية للمياه السطحية
- تَصِف العوامل المختلفة التي تؤثر على جريان المياه السطحية
- تَصِف وتُناقش موقع المياه الجوفية في الدورة المائية، والتأثير الذي تساهم به الصخور والتربة
- تَصِف المستخدمين الرئيسين للمياه في الولايات المتحدة الأمريكية، وتحدد النسب التي يستهلكونها من المياه العذبة
- تتعرف على، وتَصِف، وتُناقش المواد الفيزيائية، والكيميائية، والحيوية التي تؤثر على خواص الماء
- تُناقش الفروقات بين المواد الصلبة المتطايرة وغير المتطايرة
- تعرف العكورة، وتَصِف العوامل التي توثر على نقاء الماء
- تُناقش توقعات المستهلكين لشكل، ولون، ورائحة الماء
- تَصِف الملوثات العضوية وغير العضوية التي تؤثر على رائحة الماء ومذاقه
- تُناقش الإستساغة والحرارة
- تَصِف تأثيرات الحرارة على معالجة المياه
- تُناقش تعريف الماء بوصفه مذيبا عالميا
- تُناقش المكونات الكيميائية التي عادة ما توجد في الماء، وتَصِف كيفية تأثيرها على جودة الماء
- تعرف المواد الصلبة الذائبة الكلية، وتُناقش مصادرها وكيف يمكن التحكم بها.

- تُناقش المشاكل الناتجة من القاعدية المرتفعة.
- تتعرف على مدى ووصف تصنيفات عسرة الماء، وتُناقش ميزات وعيوب كلا من الماء العسرة والماء اليسر.
- تُناقش أهمية الفلورايد في مياه الشرب، وتَصِف كيفية تأثير الفلوريد على الأسنان.
- تتعرف على وتُناقش المعادن السامة وغير السامة، التي توجد بشكل شائع في الإمدادات المائية، وتَصِف تأثيراتها على جودة الماء
- تتعرف على التأثيرات الرئيسية للمادة العضوية على جودة الماء
- تُناقش المادة العضوية القابلة للتحلل وغير القابلة للتحلل وتأثيرها على الطلب الحيوي للأوكسجين والطلب الكيميائي على الأوكسجين.
- تتعرف على المغذيات الأساسية التي يحملها الماء، وتُناقش كيفية تأثير الكميات الزائدة أو الناقصة من هذه المغذيات على البيئة
- تُناقش كيفية تأثير خواص الماء الحيوية على صحة الإنسان وعافيته، وأن تَصِف كيفية إنتقال العوامل الممرضة من خلال النظام المائي
- تُناقش كيف أن وجود أو غياب الكائنات الحية يعد مؤشراً على جودة الماء بالنسبة لإختصاصي الماء.
- تتعرف على الطرق التي تستخلص بها الكائنات الحية المغذيات والطاقة من بيئة النفايات.
- تَصِف الدور الذي يلعبه الأوكسجين في إستقلاب الكائنات الحية
- تعرّف أنواع الكائنات الحية المائية (البكتريا، والفيروسات، والبروتوزوا، والديدان، والدولابيات، والقشريات، والفطريات،

والطحالب) التي تسكن البيئات المائية، وتتعرف على العوامل الفيزيائية، والكيميائية، والأحيائية اللازمة لوجودها.

خطة الفصل
Chapter Outline

- وصف: دورة الماء
- مناقشة: الماء والعلاقة بين الإمداد والجودة، قانون الماء النظيف، والخيارات الممكنة للمحافظة على وتحسين جودة الماء
- مناقشة:تاريخ الولايات المتحدة والماء – المواصلات، والصناعة، وتعداد السكان.
- تعريف ومناقشة: مصادر المياه السطحية، الميزات والعيوب، ومشاكل الجريان السطحي، التأثيرات والمتغيرات.
- تعريف ومناقشة: مصادر المياه الجوفية، الميزات والعيوب.
- مناقشة: استهلاك الولايات المتحدة للماء من قبل المستهلكين المحليين، والصناعيين، والتجاريين، ولعمومين.
- تعريف ومناقشة: لماذا تعد خواص الماء الفيزيائية، والكيميائية، والأحيائية وملوثات الماء بواعث قلق مهمة أو مؤشرات مهمة على جودة الماء.
- تعريف ومناقشة: لماذا يوجد الماء في صورة رطبة، وكيف تؤثر الخواص الفيزيائية للماء (المواد الصلبة، والعكورة، واللون، والرائحة، والمذاق، والحرارة) على جودة الماء.
- تعريف ومناقشة: الماء كمذيب عالمي، وكيفية تأثير المحيط الكيميائي (المواد الصلبة الذائبة الكلية، والقلوية، والعسر ، والفلورايد، والمعادن، والمواد العضوية، والمغذيات) على جودة الماء.

- تعريف ومناقشة: العوامل التي تؤثر على البيئة المائية، وكيفية إستخلاص الكائنات الحية (البكتريا، والفيروسات، والبروتوزوا، والديدان، والمفككات، والديدان، والقشريات، والفطريات، والطحالب) لإحتياجاتها من البيئة المائية، وتأثيرها على جودة الماء.

معجم المصطلحات Key Terms

هوائي	aerobic	طحالب	algae
قاعدية	alkalinity	ذاتيات التغذية	autotrophs
البكتيريا	bacteria	أفضل التقنيات المتوفرة	best available technology
قابل للتحلل الحيوي	biodegradable	الطلب الحيوي على الأوكسجين	biological oxygen demand
محفز حيوي	biostimulant	المياه منخفضة الملوحة	brackish water
عسر الكربونات	carbonate hardness	مستجمعات المياه	catchment
الطلب الكيميائي على الأوكسجين	chemical oxygen demand	مادة غروية	colloidal material
لون	color	القشريات	Crustaceans
حوض التجفيف	drainage basin	تخثث	eutrophication
فلوريد	fluoride	فطريات	Fungi

Hardness	عسر	ground water	مياه جوفية
laxative effect	تأثير مسهل	heterotrophs	متغايرات التغذية
limiting nutrient	مغذي محدد	limited	محدود
noncarbonated hardness	عسر غير الكربونات	metals	فلزات
nutrients	مغذيات	Nonvolatile	غير متطاير
oxidation	أكسدة	organic matter	مادة عضوية
protozoa	البروتوزوا	pathogens	العوامل الممرضة
reduction	إختزال	recharge area	منطقة إعادة الشحن
saline water	المياه المالحة	rotifers	مفككات (دولابيات)
taste and odor	المذاق والرائحة	surface water	المياه السطحية
total dissolved solids	مجموع المواد الصلبة المذابة	temperature	درجة الحرارة
turbidity	العكورة	toxic metals	المعادن السامة
volatile	متطاير	virus	فيروس
worms	ديدان	watershed	مستجمع الأمطار

مقدمة Introduction

لاحظ أننا حينما نستقصي الوسط البيئي الثاني، وهو الماء، فإننا نتنقل فقط بين مفاهيم وثيقة الصلة – فالهواء، والماء، والتربة مرتبطة مع بعضها البعض، ويتوجب علينا ألا نفقد الإحساس بهذه العلاقات الضرورية.

الماء مركب مهم في المحافظة على كل أشكال الحياة في الأرض.قادت هذه الحقيقة إلى وجود ارتباط مباشر بين وفرة الماء وجودته – تذكر، أن امتلاك ملايين الجالونات من المياه المخزنة، المتاحة بشكل فوري، لا يجدي نفعاً إذا كانت هذه المياه غير صالحة للاستخدام البشري ولإعادة الاستخدام.

كانت دورة المياه الطبيعية في قارة أمريكا الشمالية ، في حقبة ما قبل كولمبوس، قادرة على توفير مياه نظيفة – بنقاء الندى – للأرض. واليوم، تغيرت دورة الماء الطبيعية، وتعرضت للتلوث بعدة طرق. فقد جرفت، وتم تصريفها، وبناء السدود عليها، وشق القنوات فيها، والعبث بها، وفي بعض الأحيان تم التخلص من الأماكن الطبيعية التي ينظف فيها الماء نفسه. لقد بسطّنا من الطرق المسارات التي يتخذها الماء عبر الأراضي الأمريكية. ونتيجة لذلك، لم يعد الماء قادراً على تنقية نفسه بطريقة طبيعية ولابد من تنظيمه وتنقيته من خلال التقنيات المتقدمة المختلفة.

تم إصدار العديد من التشريعات المتعلقة بالماء في الولايات المتحدة منذ العام 1972، وجاء ذلك كرد فعل للأزمة الوطنية في جودة المياه. والغرض من هذه التشريعات هو استرجاع ممرات المياه والمحافظة على سلامتها الفيزيائية، والكيميائية، والأحيائية. بحلول العام 1995 توقفت عملية رمي الملوثات في المجاري المائية، والأنهار والبحيرات. وكان الهدف هو جعل أجسام من المياه العذبة هذه صالحة للصيد والسباحة. توفر التقنية الوسيلة لإنجاز هذا الهدف.

طلب من كل مدينة أمريكية أن تبني منشأة لمعالجة مياه الصرف الصحي ذات مقدرات معالجة ثانوية. كما طلب من كل صناعة أن تتبنى **أفضل تقنية متاحة** لتقليل إطلاق الملوثات في الممرات المائية.

و في الأعوام التي تلت العام1972 ، إرتخت القبضة التي كانت النفايات الملوثة تمسك بها خناق أجسام المياه السطحية الوطنية. ومع ذلك، فإن المهمة لا زالت بعيدة عن الإكتمال. فبعد جيل من أصدار قانون الماء النظيف،لا زال حوالي 30% من طول المجاري المائية والبحيرات في الولايات المتحدة ملوثاً (آوت ووتر 1996). وهنالك الكثير الذي ينبغي إنجازه. فعلى الرغم من بذلنا لقصارى جهودنا في المجال التشريعي، لا زالت الممرات المائية ملوثة.هل سترجع ممراتنا المائية أبداً إلى الحالة التي كانت عليها قبل عصر كولمبوس ؟

لا. لن ترجع.

هناك عقلية سائدة في دوائر الناشطين القانونين والبيئيين، تأمل هذه العقلية أننا إذا قمنا بتغيير الطريقة التي ندير بها أراضينا العامة الشاسعة، عبر استرجاع تلك العناصر التي جعل العالم الطبيعي من خلالها الماء نقياً في الممرات المائية ما قبل عصر كولمبوس، فسنمتلك ماءً نقياً مرة أخرى. يمكن أن نقول الكثير لنعضد هذا الكلام. لابد لنا أن نبدأ من نقطة ما، لابد لنا أن نتعلم احترام الماء وما يمثله في الحقيقة: دم الأرض.

و لكن هناك الكثير الذي يجب فعله. ومع الزيادة الإنفجارية لتعداد المجتمعات والزيادة المصاحبة في الحاجة لمزيد من المصادر الطبيعية والأراضي القابلة للسكنى، لابد لنا من العمل على استرجاع والمحافظة على جودة المياه. ونتبنى هنا وجه النظر القائلة بأن هذا الأمر يمكن أن يتم من خلال الاستخدام القانوني والصحيح للتقنية بغرض تنقية مياهنا. يجب أن يكون الماء متوفراً

للإستخدام البشري بكميات وفيرة. ويجب على المياه المتاحة أن تمتلك خواصاً محددة، تعرف جودة المياه من خلال هذه الخواص(تكوبانغلوس وشرودر 1987).

تقيم جودة الماء من خلال الخواص الفيزيائية، والكيميائية، والأحيائية.سنناقش هذه الخواص في هذا الفصل. في الفصل 16 نناقش خواص أجسام المياه العذبة، المجاري المائية، والبحيرات، والأنهار.و في الفصل 17 نناقش تلوث المياه، أما في الفصل 18، فسنناقش تقنية التحكم في تلوث المياه وذلك للتأكد من أن الماء سيؤدي اهم وظائفه: أن أن يكون نقياً، عذباً، وموجوداً بكميات وفيرة تروي ظمأنا.

مصادر المياه
Water Resources

ملحوظة: معظم المعلومات الواردة في الأجزاء اللاحقة تستند على كتاب سبيلمان، "علم الماء: المفاهيم والتطبيقات" (لانكستر، بنسلفانيا:تيكنوميك ببلشنغ كمبني، 1998).أين يوجد الماء (الصالح للشرب) متاحاً بيسر للاستهلاك البشري على كوكب الأرض ؟ أولا، لابد لنا من أن نعرِّف الماء الصالح للشرب.

الماء الصالح للشرب هو الماء المناسب للاستخدام البشري والمنزلي، والصحي والذي عادة ما يكون خالياً من المعادن، والمواد العضوية، والعوامل السامة بكميات أكبر من تلك الكميات المناسبة للاستخدام المنزلي في المنطقة المخدومة، والتي عادة ما توجد بكميات كافية للحد الأدنى من المتطلبات الصحية للشخص المخدوم. (سبيلمان 2003)

تعد الجودة والكمية هما المصطلحان الأكثر أهمية فيما يتعلق بإمداد المياه الصالحة الشرب. تكون لدينا مشكلة في الجودة، إذا كان لدينا إمداد مائي غير صالح للشرب. أما إذا كان لنا إمداد غير كافٍ من ماء ذي جودة مناسبة، تكون عندنا حينئذ مشكلة في كمية الماء.(سبيلمان 2003)

أنظر لخريطة العالم، إحدى الخرائط التي تشير بوضوح إلى مراكز المجتمعات السكانية (المدن).إلقي نظرة على الولايات المتحدة، على سبيل المثال؛ بنى المستوطنون الأمريكيون الأوائل مستوطناتهم على طول الأنهار.وفرت الأنهار للمستوطنين الماء الذي يحتاجونه لحياتهم وكانت المصدر الرئيسي لطاقة الصناعة المبكرة ووسيلة سهلة للمواصلات.

كانت معظم المستوطنات الأولى في الساحل الشرقي للولايات المتحدة. في معظم الحالات، كان المستوطنون الذين استقروا على طول هذا الساحل محظوظين(تعد مستوطنة جيمس تاون، فيرجينيا، استثناء لهذه القاعدة، حيث كانت جودة ماء الشرب فقيرة).استوطن معظم هؤلاء ضفاف أنظمة نهرية ذات جودة ممتازة. وكانت هذه الأنهار مهيأة بشكل مثالي لصناعة الورق والنسيج،و التي كانت أولى الصناعات التي نشأت.

وبوصول المزيد من المستوطنين لأمريكا الشمالية، بدأ هؤلاء المستوطنون بالتفرع نحو الداخل (غرباً، حيث وجدت فسحة من المكان) من المستوطنات الأولى، وفي بعض الحالات، وجدوا أن العثور على الماء الصالح للشرب ليس علية سهلة.و كلما أوغلوا في السفر نحو الغرب، كلما ازدادت ملوحة الأنهار والمجاري المائية، خصوصاً للأنهار الطويلة والمجاري التي تجري عبر مناطق ذات تكوينات صخرية ذائبة نسبياً.

لا تظهر الأجزاء الغربية من الولايات المتحدة (خصوصاً المناطق الصحراوية) سوى مستوطنات متفرقة، وذلك بسبب أن هذه المناطق القاحلة تفتقر للماء اللازم لدعم المجتمعات السكانية الكبيرة.تسكن هذه المناطق قلة من البشر وأنواع أحيائية مختلفة من المجتمعات الأحيائية الأخرى. هل يمثل الموقع كل شيء ؟ على الرغم من أننا لا نفكر في هذا الموضوع بشكل واعٍ، إلا أننا عندما نتفحص بدايات الاستيطان البشري، فإن الموقع حقيقة يساوي الماء.الماء الصالح للشرب ضروري (سبيلمان1998).

يعد توفر الماء الصالح للشرب ، في اليابسة، أهم عامل يحدد وجود – أو غياب – العديد من أشكال الحياة.ضع في اعتبارك أن معظم البشر(و الأشياء الأخرى الحية) توجد في مناطق الولايات المتحدة وأجزاء العالم الأخرى حيث توجد مياه شرب متاحة للاستخدام.

ما هي المصادر الرئيسية لمياه الشرب؟

What are the Major Sources of Drinking Water?

تغطي حوالي 326 مليون ميل مكعب من المياه سطح الأرض، ولكن نسبة المياه العذبة لا تمثل سوى ما يقارب 3% من هذا المجموع الكلي. توجد معظم المياه العذبة محبوسة في كتل الجليد القطبية،و المجلدات، والبحيرات، والأنظمة النهرية والمجاري المائية. ومن هذه النسبة(3%) فإن المتاح منها للاستخدام البشري هو فقط نسبة 0.027%.

أين تتوزع مياه العالم ؟ يمكن للبيانات الواردة في الجدول 1.15 أن تساعدنا في الإجابة عن هذا السؤال.

عندما تراجع الجدول 1.15، ينبغي أن يتضح لك أن مصادر مياه الشرب الرئيسية تأتي من المياه السطحية، والمياه الجوفية، والمياه الجوفية التي تقع تحت التأثير المباشر للمياه السطحية (ينبوع أو بئر ضحل).

المياه السطحية Surface Water

تنتج المياه السطحية (المياه الموجودة على سطح الأرض مقارنة بالمياه التحتسطحية – المياه الجوفية) في الغالب من الترسيب: المطر، والثلج، والجليد، أو البرد. تعد المياه السطحية معرضة أو مفتوحة على الغلاف الجوي، وتنتج من حركة الماء على سطح الأرض أو تحته مباشرة (الإنسياب الفوق أرضي). هذا الإنسياب الفوق أرضي هو نفس الجريان السطحي، والذي يساوي كمية الأمطار المتساقطة على سطح الأرض. تشمل مصادر المياه السطحية المحددة:

- الأنهار
- المجاري المائية
- البحيرات
- المحتجزات السطحية (البحيرات التي صنعها الإنسان ببناء السدود على نهر أو مجرى مائي)
- الآبار الضحلة التي تستقبل مياه الأمطار
- الينابيع التي تتأثر بالأمطار (يتأثر جريانها أو كميتها مباشرة بالأمطار).
- مستجمع الأمطار (أحواض التصريف)
- برك التندرا أو (مستنقعات الخث) والأراضي الرطبة الأخرى.

للمياه السطحية، كمصدر لمياه الشرب، بعض الفوائد. فمن السهل تحديد أماكن المياه السطحية. لا تحتاج أن تكون عالم جيولوجيا (أو أن توظف عالم جيولوجيا) أو مختص بالمياه لتعثر عليها. وفي العادة، لا تتلوث مياه الأمطار بالمواد الكيميائية المترسبة من طبقات الأرض.كما أن للمياه السطحية عيوبها. وأكبر عيوب استخدام المياه السطحية كمصدر لمياه الشرب هو قابليتها للتلوث بالكائنات الحية الدقيقة التي تسبب الأمراض المنقولة بواسطة الماء، وبالمواد الكيميائية التي تدخل من الجريان السطحي المحيط والانبعاثات أعلى النهر.كما يمكن أن تنشأ مشاكل في ما يتعلق بحقوق المياه.

الجدول 1.15 التوزيع العالمي للمياه

الموقع	**النسبة الكلية**
مناطق اليابسة	
بحيرات المياه العذبة	0.009
البحيرات المالحة والبحار الداخلية	0.008
الأنهار (متوسط الحجم الآني)	0.0001
رطوبة التربة	0.005
المياه الجوفية (فوق عمق 4000 متر)	0.61
القمم الثلجية والمجلدات	2.14
	2.8
الغلاف الجوي (بخار الماء)	0.001
المحيطات	97.3
المجموع لكل المواقع (بالتقريب)	**100**

مأخوذ من تش، إس. بيفي، دي، آر، روي، وجي، تكوبانغلوس. الهندسة البيئية. نيويورك: ماكغرو-هل، 1985.

إذا كنت على معرفة بالمعارك التي نشأت (و بعضها لا يزال قائماً) في الولايات الغربية للولايات المتحدة، حينما، تنازع أصحاب مزارع الماشية مع المزارعين على المراعي، فستكون ملماً بهذه القضية: حقوق خدمة المياه.و اليوم، تتطلب إزالة كمية مقدرة من المياه من نهر، ومجرى مائي، وينبوع،أو بحيرة إذنا قانونياً (سبيلمان 1998).

تنتج معظم المياه السطحية من الجريان السطحي. وتتباين كمية ومعدل التدفق للجريان السطحي بشكل كبير. ينتج هذا التباين من سببين : التدخلات البشرية (التأثيرات) والظروف الطبيعية. يتدفق الجريان السطحي بسرعة فوق الأرض في بعض الحالات. وعموما، يعتبر الجريان السطحي السريع غير مرغوب فيه (من وجه نظر مصادر المياه)، وذلك لأن الماء يحتاج لفترة من الوقت لكي يتغلغل داخل الأرض ويعيد شحن مستودعات المياه الجوفية. تشمل المشاكل الأخرى المتعلقة بالجريان السطحي التعرية والفيضانات. وعلى الأرجح ، الشيء الوحيد الإيجابي الذي يمكن أن يقال عن الجريان السطحي السريع هو أنه لا يملك الوقت الكافي ليتلوث بمحتوى عالي من المعادن. أما الجريان السطحي البطيء على اليابسة فيتوقع أن يكون لديه تأثيرات معاكسة.

تسافر المياه السطحية على اليابسة إلى ما يمكن أن نطلق عليه وجهة محددة سلفاً.ما هي العوامل التي تؤثر على كيفية جريان المياه السطحية ؟ تبدأ رحلة المياه السطحية على سطح الأرض عادة من حوض تصريف، يشار إليه في بعض الأحيان كمنطقة تصريف/ مستجمع المياه، و/أو مستجمع الأمطار. بالنسبة لمصدر المياه الجوفية تعرف هذه المنطقة بمنطقة إعادة الشحن، وهي المنطقة التي تتدفق منها مياه الترسيب إلى مصدر المياه الجوفية. عادة ما يوجد حوض تصريف المياه السطحية في منطقة تقاس مساحتها بالأميال المربعة، والفدانات، أو القطاعات، وإذا أخذت مدينة ما مياهها من مصدر مياه

سطحية، فإن حجم حوض التصريف وما يحتويه يوفر معلومات مهمة لتقييم جودة المياه.

لا تجري المياه الى أعلى التل. ويتدفق الجريان السطحي (مثل سريان التيار الكهربائي) متتبعاً المسار الأقل مقاومة. وبصورة عامة، فإن المياه داخل حوض التصريف يتم تحويلها بشكل طبيعي (من خلال التكوين الجيولوجي الطبيعي للمنطقة) إلى أحد ممرات المياه الرئيسية (نهر، ومجرى مائي، وخليج، أو غدير) ما لم ينحرف الجريان بواسطة نظام توزيع من صنع الإنسان.

تؤثر عدة عوامل بصورة مباشرة على جريان المياه فوق الأرض.و العوامل الرئيسية هي:

- مدة هطول الأمطار
- شدة الأمطار
- رطوبة التربة
- تكوين التربة
- الغطاء النباتي
- انحدار الأرض
- التدخلات البشرية

مدة هطول الأمطار: يؤثر طول فترة سقوط المطر على الجريان السطحي. حتى الأمطار الخفيفة، المعتدلة تتسبب في تشبع التربة في النهاية إذا استمرت لفترة طويلة بما فيه كفاية. ولأن التربة المشبعة لا يمكنها امتصاص المزيد من الماء، فإن مياه الأمطار تتراكم على السطح ثم تبدأ بالجريان على السطح في هيئة جريان سطحي.

شدة الأمطار: كلما كانت الأمطار أشد وأسرع ، كلما أصبحت البوصات السطحية من التربة مغمورة بشكل أسرع، وفي حالة الأمطار القصيرة والقوية، ينتهي معظم المطر المتساقط على هيئة جريان سطحي، وذلك لأن البلل يجرف بعيداً قبل أن تمتص كميات مقدرة من المياه في التربة.

رطوبة التربة: من الواضح أنه إذا كانت التربة ممتلئة مسبقاً بالمياه من أمطار مسبقة، فإنها تصل إلى نقطة التشبع بدرجة أسرع من التربة الجافة. تمنع التربة المتجمدة أيضاً امتصاص المياه: ينتهي المطاف بحوالي 100% من الجليد الذائب أو الأمطار المتساقطة على تربة متجمدة على شكل جريان سطحي، ذلك لان التربة المتجمدة غير منفذة.

تكوين التربة: تتأثر كمية الجريان السطحي بتكوين التربة بشكل مباشر.تريق الصخور الصلبة كل الأمطار المتساقطة، كما هو واضح، ولكن كذلك تفعل التربة ذات التكوين الطيني الثقيل. تمتلك التربة الطينية مسامات صغيرة تنتفخ عندما تبتل.و عندما تنغلق هذه المسامات، فإنها تشكل حاجزاً لا يسمح بحدوث مزيد من الامتصاص أو التغلغل. أما في الطرف الأخر من الطيف، فتسمح التربة الرملية الخشنة بتدفق الماء من خلالها بسهولة، حتى في الأمطار العاصفة.

الغطاء النباتي: يحد الغطاء النباتي من الجريان السطحي. إذ تصنع جذور النباتات وأبر الصنوبر، وأكواز الصنوبر، والأوراق، والأغصان طبقة غير منفذة (غطاء من المواد العضوية المتحللة الطبيعية) فوق التربة. يسمح هذا الغطاء "العضوي" المنفذ (غطاء الأرض) بمرور سهل للماء إلى التربة. يعمل الغطاء النباتي والنفايات العضوية كغطاء يحمي التربة من الأمطار القوية ، العاتية.تستطيع الأمطار القوية أن تدمج التربة العارية، وأن تغلق المسامات الفارغة، وأن تزيد من الجريان السطحي. كما يعمل الغطاء النباتي وغطاء

الأرض سوياً في المحافظة على نفاذية التربة وقدرتها في الحفاظ على الماء. لاحظ أن الغطاء النباتي والغطاء الأرضي يقللان من تبخر رطوبة التربة أيضاً.

إنحدار الأرض:عادة ما يكون جريان الماء في الأرض المستوية بطيئاً جداً بحيث يسمح بتسرب كميات كبيرة من مياه الأمطار إلى التربة. تعمل الجاذبية ضد تغلغل المياه في الأرض شديدة الانحدار، حيث يصبح 80% من المطر المتساقط جرياناً سطحياً.

التدخلات البشرية: للأنشطة البشرية تأثير واضح على الجريان السطحي.تميل معظم الأنشطة البشرية إلى زيادة معدل الجريان السطحي. فعلى سبيل المثال، تشق القنوات والمجاري عادة لتوفر تدفقاً مستمراً ، كما أن الأنشطة الزراعية عموماً تزيل غطاء الأرض الذي يقلل معدل الجريان السطحي.و في الطرف الآخر من الطيف، فإن السدود التي بناها البشر عموماً ما تعيق تدفق الجريان السطحي.

تخلق المساكن البشرية، من خلال الشوارع المعبدة، والمدارج، ومواقف السيارات المعبدة، والمباني جرياناً سطحياً محتملا، وذلك لأن العديد من هذه الأسطح غير منفذ للماء. ولأن كل هذه الأسطح تعجل من جريان المياه، فهي تزيد من احتمالية الفيضانات، وعادة ما تأتي بنتائج كارثية. وبسبب الزيادة في الجريان السطحي الحضري، نشأ حقل "صناعة" جديدة: ألا وهي "إدارة مياه الأمطار".

كما أن لإنشاء الطرق المعبدة على سطح المساحات الطبيعية أثر جانبي خطير آخر. فبدون مساحات كافية متاحة للماء لكي يتغلغل داخل الأرض ويصل في النهاية إلى مصادر المياه الجوفية فيعيد شحنها / وتجديدها، فإن

هذه المصادر ستنضب في النهاية، ويكون لها تأثير مدمر على الإمداد المائي المحلي.

دراسة الحالة 15.1 Case Study

الأراضي الرطبة الحقيقية والصناعية Real and Artificial Wetlands

لم تعط ممارسات أستخدام الأراضي العامة أي اهتمام في الماضي للأراضي الرطبة الطبيعية.فقد شغلت الأراضي الرطبة، وتم شق القنوات فيها لتصريف المياه بعيداً عنها، وتم إعادة " استصلاح" الأرض لأغراض الزراعة والبناء.

وبالتدريج، بدأنا ندرك، رغم ذلك، قيمة مناطق الأراضي الرطبة الطبيعية.تمثل الأراضي الرطبة الطبيعية جزءاً مهماً من الدورة المائية، ونحن نعرض انفسنا للخطر عند العبث بها. توفر الأراضي الرطبة عازلا طبيعياً للجريان السطحي لمياه الأمطار، وللتحكم في الفيضانات، ونظاماً طبيعياً لتَصفية الملوثات والرسوبيات، كما تمثل أيضاً، مسكناً طبيعياً لأنواع خاصة من الكائنات الحية.

والآن، نحاول أن ننسخ ، بأنفسنا، مناطق الأراضي الرطبة المحمية.أثبتت الأراضي الرطبة الصناعية في بيس ووتر في بيرث، أستراليا فعاليتها في أحتواء أخطر أنواع الجريان السطحي – وهو أول هطول للمطر الثقيل بعد طقس جاف.صممت هذه المناطق كمصايد للتدفقات المنخفضة، ومصافي للمياه ذات المستويات الأعلى، وهي تمنع الضرر الناجم من الجريان السطحي، وتوفر وسيلة للتحكم في الرواسب والمغذيات.تحتفظ هذه الأراضي الرطبة بالماء لفترة متوسطة من الزمن تقدر بسبعة أيام. يؤدي التغلغل البطيء لمياه الأمطار في التربة والنباتات الأصلية لتَصفية ما يقدر بحوالي 50 من الملوثات من الدفق المتوسط.

تتطلب الأراضي الرطبة زمناً طويلاً لنضوج الغطاء النباتي.و لكن، حتى في الأطوار المبكرة، تؤدي هذه الأراضي الرطبة الصناعية بفعالية ما صممت لإنجازه. كما أنها مرضية من ناحية جمالية، وتوفر أيضاً المسكن للطيور والأسماك الأصلية.

ولكن هل تعمل تماماً كما يريد مصمموها ؟ ربما تفعل ذلك، ولكن في النهاية، وكما كتب جون د. تايلور في كتابه قننغ ذا إيسترن أبلاند:

عندما تختفي أرض رطبة، فهل يمكن أن نسترجعها مرة أخرى ؟ في بعض الحالات تكون الإجابة نعم.يمكن إعادة خلق الأراضي الرطبة (الأراضي الرطبة المخففة كما تسمى بمصطلحات الوكالة الأمريكية لحماية البيئة) عندما تكون التربة والظروف ملائمة، ولكن كم من محلات التسوق العملاقة يجب أن تهدم، حتى لو كانت خالية الآن، لنخلق مسكنا لحياة برية حقيقية؟ وهل ستنمو حياة برية حقيقية بجوار محلات هوم ديبوت، محلات جيفي لوب، ومحلات ديري كوين، وثلاثة من محلات ميني مارت، على أي حال ؟ توجد أرض رطبة على حافة مدينة لانكستر، بجوار أحد مراكز التسوق الضخمة. والانطباع السائد هو أنها تسببت في أنواع غازية من الأزهار الأرجوانية، والقليل من أوز الضواحي الكندي الشائع، وأعداد متزايدة من أكياس البلاستيك.

إن الأراضي الرطبة المخففة والتي يروج لها على أنها الحل للأراضي الرطبة المفقودة، خصوصاً عندما يكون موضوع التطوير مطروحا، لا تنجح دائماً. تحكي قصة أودبون لجو بور في العام 2003 عن الأراضي الرطبة الموسمية وأهميتها في الحفاظ على التنوع الأحيائي، خصوصاً عندما يتناول كيف فقدت ألينوي حوالي 85% من أراضيها الرطبة عبر التطوير. وهو يشير إلى المشاكل الخطيرة للأراضي الرطبة الصناعية. قارنت دراسة حديثة، على سبيل المثال، في وسط أوهايو، بين الحياة البرية في الأراضي الرطبة الصناعية والحياة البرية

في الأراضي الرطبة الطبيعية. تناسل حيوان السمندور، وهو مؤشر جيد على صحة الأراضي الرطبة في 55 من المواقع الطبيعية، ولكن في أثنين فقط من الأراضي الرطبة المخففة.

ونظر بور (Bower) أيضاً إلى الكيفية التي أزالت بها المحكمة الدستورية العليا بعض الحماية التي تمتعت بها الأراضي الرطبة تحت قانون الماء النظيف. ففي قضية وكالة مقاطعة كوك الشمالية للنفايات الصلبة ضد وحدة مهندسي الجيش الأمريكي، قالت المحكمة إن الحكومة لا تستطيع أن تمنع منح أذن بإزالة 17 فدان من البرك المعزولة فقط بسبب أن هذه البرك تمثل مسكناً للطيور المهاجرة. فُسر هذا الحكم على أنه يعني أن البرك التي ترتبط مع بعضها من خلال هجرة الطيور وليس من خلال تدفق الماء تستثنى من الحماية الفدرالية – وهو أمر يمكن أن يسبب مصاعب كبيرة في الحفاظ على مساكن الأراضي الرطبة.

كما أشار بور أيضاً إلى كيف أن ماسوتشوست قد فعلت الكثير لتحمي بركها الربيعية الموسمية: فقد تم تخطيط حوالي 30,000 بركة وحماية 2,000 منها من التدمير. إن الحفاظ على هذه البرك أمر مهم، وذلك لأن التخفيف لا يمكن أن يسترجعها. فعندما تختفي أراضي رطبة مثل الأحواض الربيعية، فهي تختفي للأبد. (من كتاب جون د.تايلور، (Hunting the Eastern Uplands) والطبعة الرابعة من الطيور: وود كوك (Woodcock): وود كوك الآن [لانكستر، بنسلفانيا،2004]. يشير تايلور إلى بور: جو بور،" اليوم هنا، وغدا تختفي"، عمود ترو نتشر، أودبون، مارس 2003).

المراجع References

بيس ووتر الأراضي الرطبة الصناعية: الابتكار في مياه الصرف الصحي. مجموعة الحماية البيئية.

www.enviroment.gov.au/epg/pubs/bayswater.html

المياه الجوفية Ground water

تهطل ثلاثة أقدام من مياه الأمطار كل عام على كل قدم مربع من الأرض. وترجع حوالى ست بوصات من هذه المياه الى البحر. ويستهلك التبخر حوالى قدمين من هذه المياه. ويتسرب ما تبقى، أي حوالى الست بوصات الى الأرض، ويدخل الى كل فرجة، وكل تجويف، وكل حفرة ويملأها بذات الطريقة التي تملأ بها المواد الممتصة الفجوات. وبالرغم من أن كمية مياه الأمطار المتبقية تمثل فقط سدس الكمية الأصلية (1,680,000 ميلاً منها)، إلا أنها قادرة على أن تغطي سطح الأرض بأكمله بغطاء يبلغ عمقه مائة قدم، إذا ما غرفت وأريقت على سطح الأرض.

يمثل مورد الماء المهول هذا (المحيط الواقع حرفياً تحت أقدامنا) مستودعاً يغذي كل النوافير والينابيع الموجودة في الأرض. وفي نهاية المطاف، يجد هذا الماء طريقه للسطح. يخرج بعض هذا الماء في هيئة طيف سائل أزرق مخضر نظيف ونقي؛ والبعض الآخر، ذلك الماء الذي يختبئ في أعمق تجاويف الأرض ينضغط ويعود لينفذ عبر سطح الأرض في فوضى بيضاء، رغوية، مبتلة تعرف بإسم العين الفوارة.

ولحسن الحظ، توجد الغالبية العظمى من هذا الماء في متناول اليد، على مقربة من السطح. وهذه هي المياه الجوفية.

-سبيلمان 1998، 22-23

يسلك الماء الذي يهطل على الأرض عادة في شكل ترسيب ثلاثة مسارات. تذهب بعض هذه المياه في شكل جريان سطحي يذهب الى الأنهار والجداول، ويتخلل بعض الماء الأرض قاصداً المستودعات الجوفية، ويتبخر بعض الماء أو يتم نتحه عبر الغطاء الخضري. المياه الموجودة في باطن الأرض (المياه الجوفية) هي مياه "غير مرئية" يمكن التفكير فيها بإعتبارها مستودعاً طبيعياً (أي إس تي إم 1969). وجميع المياه الجوفية، على الأرجح، توجد في حالة حركة دائمة تجاه الأنهار والأنهار والأجسام المائية السطحية.

تعرف المياه الجوفية بأنها المياه الموجودة تحت القشرة الأرضية، إلا أنها تقع في عمق يزيد عن 2500 قدم. عليه، إذا كانت المياه موجودة بين القشرة الأرضية ومستوى 2500 قدم فإنها تعتبر مياهاً عذبة صالحة للإستخدام. في الولايات المتحدة يخزن ما لا يقل عن 50% من مياه الشرب المتاحة في المستودعات الجوفية" (كريمر 1979، 17).

عادة ما يتحصل على المياه الجوفية من الآبار، أو من الينابيع التي لا تتأثر بالمياه السطحية أو ألأحداث المائية المحلية. وفيما يخص علاقتها بالمياه السطحية، للمياه الجوفية عدة ميزات:

1. على العكس من المياه السطحية، ليس من السهل تلويث المياه الجوفية؛
2. المياه الجوفية تتلوث بالبكتيريا بدرجة تقل عن درجة تلوث المياه الجوفية؛
3. يظل إمداد المياه الجوفية ثابتاً طوال العام؛ و
4. في الولايات المتحدة على سبيل المثال، تتوفر المياه الجوفية في معظم المواضع،

و عند مقارنة موارد المياه الجوفية بموارد المياه السطحية، نجد أن موارد المياه الجوفية يعيبها ما يلي:

1. عادةً ما يكون تلوثها غير ظاهر للعيان؛
2. عادة ما تكون المياه الجوفية محملة بالمعادن (مستويات متزايدة من العسر) لأنها تكون على تماس أكبر بالمعادن؛
3. من الصعب جداً إزالة الملوثات من إمدادات المياه الجوفية؛
4. يتحتم ضخها من باطن الأرض، لذا تكون تكاليف التشغيل المرتبطة بها مرتفعةً عادة؛ و
5. تتعرض إمدادات المياه الجوفية القريبة من المناطق الساحلية لتغول المياه المالحة عليها.

إستخدام المياه Water use

يبلغ متوسط مياه الأمطار الساقطة في الولايات المتحدة ما يقارب $250،4X10^9$ جالون في اليوم. ويعود ثلثا هذه الكمية الى الغلاف الجوي عن طريق التبخر من أسطح الأنهار، والجداول، والبحيرات أو من عمليات النتح التي يقوم بها الغطاء النباتي. يخلف هذا التبخر ما يقارب $1250X10^9$ جالوناً في اليوم تنساب عبر الأرض في لتصل الى البحر (كريمر 1979).

في الوقت الحالي، تستخدم المياه في الولايات المتحدة بمعدل $1.6X10^{12}$ لتر في اليوم، ويعني هذا زيادة تبلغ عشرة أضعاف عدد اللترات التي استخدمت منذ مطلع القرن.

أين تستخدم هذه المياه؟ يقدر سبيلمان (1998) أن عدد الجالونات التي يتم سحبها في اليوم يبلغ 310 مليار جالون في اليوم؛ يستخدم 142 منها في الري، ومثلها في الصناعة (تستخده هذه بصورة أساسية في مياه التبريد في

المرافق–100 مليار جالون في اليوم)؛ كما تستخدم 26 مليار جالون في اليوم للأغراض المدينية؛ كما يتم إستهلاك 90 مليار جالون في اليوم (في الري، كما يفقد بعضها لجوف الأرض ولعملية التبخر)؛ ويعاد 220 جالوناً في اليوم للجداول. وتعزى الغالبية العظمى في هذه الزيادة الى التزايد في الإستخدامات الصناعية والزراعية، والتي تستهلك كل واحدة منها ما يفوق 40% من مجموع الإستهلاك. كما يستهلك الإستخدام المديني العشرة أو الإثناعشر بالمائة المتبقية (مانهان 1997).

نحن معنيون بصورة أساسية باستخدام المياه للتطبيقات الحضرية (الطلب).

عادة ما يتم تصنيف الطلب المديني على المياه بحسب طبيعة المستخدم. وهذه التصنيفات هي:

***محلي* Domestic**. توفر المياه المحلية للمنازل، والمدارس، والمستشفيات، والفنادق، والمطاعم وما الى ذلك من أغراض الطبخ والنظافة والأغراض الأخرى. تختلف مستويات الإستخدام باختلاف المستوى الإقتصادي للمستهلك، ويتراوح مدى الإستخدام ما بين 10–100 جالون لكل نسمة في اليوم.لاحظ أن هذه الأرقام تشمل كميات المياه المستخدمة لسقاية نباتات الحدائق والمروج وغسيل السيارات.

***تجاري وصناعي* Commercial and industrial**. توصل إمدادات المياه التجارية والصناعية الى المحلات، والمكاتب، والمصانع. تتبع أهمية الطلب التجاري والصناعي مما إذا كانت الصناعات الكبيرة تستخدم المياه التي يوفرها النظام المديني، إذ أن المنشآت الصناعية الضخمة تتسبب في وضع حمل ثقيل على النظام المديني. تطلب الصناعات الضخمة كمية من المياه تتناسب

بصورة مباشرة مع عدد المستخدمين، ومع المساحة الحقيقية لطوابق المنشأة أو مساحة المؤسسة، ومع عدد الوحدات المنتجة أو المصنعة.

الإستخدام العام Public use. مياه الإستخدام العام هي المياه التي يتم توفيرها للمباني العامة ويتم استخدامها في الخدمات العمومية. تشمل هذه مياه المدارس، والمباني العامة، والحماية من الحرائق، وغسل الشوارع.

الفقدان. يعزى فقدان المياه (المياه التي تفقد) الى التسريبات التي تحدث في نظام التوزيع، أو القراءات غير الدقيقة للعدادات، أو للتوصيلات غير القانونية. يمكن لفقدان المياه أن يكون مكلفاً. يتطلب التقليل من هذه التكلفة إستخدام برنامج يشمل صيانة النظام وتبديل/أو إعادة معايرة عدادات المياه (ماكجي 1991).

يشير مانهان الى أن الماء لا يفنى، إلا أنه يصبح غير متاح للإستخدام العملي. وتشمل الطرق التي يمكن أن يحدث بها هذا الفقدان:

- الفقدان التبخري الذي يحدث أثناء الري بإستخدام الرش، وحينما تستخدم المياه للتبريد التبخري.
- تسرب المياه لجوف الأرض، ويحدث هذا عادة في أماكن (و بطرق) تجعل من الصعب إستخدام موارد هذه المياه كمياه جوفية.
- التفكك بواسطة الملوثات، مثل الأملاح التي تلتقطها المياه المستخدمة في عملية الري (1997، 133).

خصائص المياه

Characterstic of Water

حينما نريد أن نشخص الماء، فإننا عادة ما نقفز الى الملامح الواضحة: المظهر، والمذاق، والرائحة. هذه الخصائص الفيزيائية مهمة، إلا أن

الخصائص الكيميائية والحيوية للماء مهمة هي الأخرى. والخصائص الكيميائية مهمة لأنه من الممكن أن يكون للماء مذاق وطعم وحتى رائحة لا بأس بها، إلا أن فيه بعض الملوثات الكيميائية. وفي يومنا هذا، ومع كل مبيدات الآفات المستخدمة في الزراعة والأنشطة الإقتصادية الأخرى، فإن التلوث الكيميائي يعد إمكانية حقيقية.

والخصائص الحيوية للماء مهمة جداً لأي شخص قد يشرب الماء. وكما ذكرنا سلفاً، فإنه وحتى قبل ظهور مرض التيفويد، شك الناس في وجود علاقة بين الكائنات الحية المجهرية والأمراض. ونحن نعلم الآن بصورة قاطعة أن الأمراض المنقولة بواسطة الماء هي تهديد حقيقي لصحة البشر.

نحن نعلم أيضاً أن الماء الملوث (سواءاً كان هذا التلويث فيزيائياً، أو كيميائياً، أو حيوياً) لم يكن ملوثاً بالأصل.

لا يحتوي الترسيب الذي يأخذ هيئة المطر، أو الثلج، أو البرد (عدا ذلك الذي نلوثه بأنفسنا) على شوائب (إذا وجدت) بكميات تذكر. قد يلتقط الترسيب كميات ضئيلة من المواد المعدنية، والغازات، والمواد الأخرى أثناء تكونه ومن ثم يسقط عبر الغلاف الجوي إلا أن هذا الترسيب خال تماماً من أي محتوى بكتيري، أي لا توجد به أمراض منقولة بواسطة المياه.

وحينما يصل الترسيب الى سطح الأرض فإن عدة فرص تسنح لتلويثه بالمواد المعدنية والعضوية، والكائنات الحية والهيئات الأخرى من الملوثات. وحينما تجري المياه فوق وعلى سطح الأرض، فإنها يمكن أن تلتقط جسيمات التربة. ويتسبب هذا الأمر في واحدة من خواص التربة التي تسهل رؤيتها: التكدر أو العكورة. كذلك تلتقط البكتيريا في مسيرتها العنيدة فوق سطح الأرض البكتيريا والمواد العضوية. ومع تسرب المياه عبر التربة الى أسفل التربة والمواد

الموجودة تحتها في اتجاه مستوى المياه الجوفية، تزال معظم المواد المعلقة بواسطة الترشيح. قد تكون عملية الترشيح الطبيعية هذه سلاحاً ذا حدين: إذ يمكنها أن تزيل بصورة جزئية البكتيريا والمواد الحبيبية الأخرى، لكنها قد تغير في الوقت ذاته من الخواص الكيميائية للماء الذي يتماس مع الترسبات المعدنية.

و تمثل المواد التي تغير من جودة المياه التي تتحرك أعلى أو أسفل الأرض مصدر قلق رئيسي للعاملين في مجال البيئة. لذلك، سوف نناقش في الأقسام القادمة الخصائص الفيزيائية والكيميائية والحيوية للماء.

الخواص الفيزيائية للماء
Physical Characterstics of Water

ما الذي يجعل الماء مرطباً (wet)؟ لماذا يكون الماء مرطباً؟ يشير ديفيد كليري (1997,David Clary)، عالم الكيمياء في كلية لندن الجامعية، الى أن الماء لا يبدي سلوك السوائل ما لم تجتمع ست جزئيات منه على الأقل. كما وجد أيضاً أن تجمع خمس جزيئات من الماء وما دون هذا العدد يجعل منه تركيباً مسطحاً، في هيئة طبقة من الجزيئات يبلغ سمكها جزيء واحد. إلا أنه ما أن يضاف الجزيء السادس الى هذا التجمع حتى يأخذ التجمع شكلاً ثلاثي الأبعاد شبيهاً بشكل القفص، وحينها، وفجأةً، يكتسب هذا التجمع من الجزيئات خواص الماء، أي يصبح حينها مبتلاً.

إضافة لخاصية الرطوبة، تشمل الخصائص الفيزيائية للماء والتي تهمنا مجموع المواد الصلبة في الماء ودرجة عكورته ولونه، ودرجة حرارته–و كل هذه الخصائص تبدو ظاهرة لحواس الشم، والتذوق، والبصر، واللمس.

المواد الصلبة (Solids)

باستثناء الغازات، تساهم جميع ملوثات الماء في محتواه من المواد الصلبة الكلية (المواد الصلبة التي يمكن ترشيحها وتلك التي لا يمكن ترشيحها). تصنف **المواد الصلبة** بحسب حجمها وحالتها، وخصائصها الكيميائية وتوزيع أحجامها. ويمكن أن تشتت هذه المواد الصلبة في المياه سواءً في هيئتها المعلقة أو المذابة. تصنف المواد الصلبة كذلك بحسب حجمها الى مواد معلقة، ومواد يمكن ترسيبها، وأخرى غروية، أو مذابة إعتماداً على سلوكها.

قد تكون **المواد الغروية** (Colloidal) الموجودة في الماء مفيدة أحياناً ومضرة في أحيان أخرى. المواد الغروية المفيدة هي تلك التي تقوم بدور تشتيتي بعملها كمواد غروية واقية. إلا أنه من الممكن أن تتسبب بعض أنواع المواد الغروية (من نوع السيليكا) في بعض المشاكل، بتكوينها لقشرة صلبة جداً حينما تترسب على أسطح ناقلة للحرارة (كريمر 1988). ومن منظور كيميائي، يمكن تشخيص المواد الصلبة على أنها **متطايرة** (Volatile) (للمواد التي تتطاير عند درجة حرارة تبلغ 550 درجة مئوية) أو **غير متطايرة** (non volatile).

وعندما نود أن نحدد توزيع المواد الصلبة، فإننا نحسب نسبها بحسب مدى أحجامها. وفي العادة، تشمل المواد الصلبة المواد غير العضوية الصلبة (الطمي والطين من ضفاف الأنهار) والمادة العضوية مثل ألياف النباتات والكائنات الحية المجهرية من المصادر الطبيعية والبشرية. في المياه الجارية،

ينتج عدد من هذه الملوثات من الفعل التجريفي للمياه الجرية على الأسطح. لا توجد المواد المعلقة، عادةً، في المياه الجوفية بسبب الفعل الترشيحي للتربة.

وجود المواد المعلقة في المياه هو أمر غير مقبول بسبب أن هذه المواد توفر مواضع ادمصاص للتغيرات الفيزيائية والكيميائية. توفر مواضع الإدمصاص هذه حواجز تقي الكائنات الحية التي تلتصق بها من أثر الفعل الكيميائي للكلور الذي يستخدم في عمليات التعقيم. يعترض أيضاً على هذه المواد المعلقة بسبب أنها قد تفكك بواسطة الكائنات الحية وتحول الى مواد جانبية غير مرغوب فيها. وكما هو واضح، فإن إزالة هذه المواد الصلبة هو واحد من القضايا المهمة ذات الصلة بإنتاج مياه شرب نظيفة وآمنة.

أكثر الوسائل فعالية في إزالة المواد الصلبة من الماء في مجال معالجة المياه هي عملية الترشيح. إلا أنه من غير الممكن إزالة كل المواد الصلبة (الغرويات والمواد الصلبة المذابة الأخرى) عن طريق الترشيح.

العكورة Turbidity

صفاء الماء هو واحد من أولى الأشياء التي نلاحظها فيه، ونقيس هذا الصفاء عن طريق ملاحظة مدى عكورته، والتي هي تقييم مدى تشتتيت الضوء أو إمتصاصه بواسطة المادة المعلقة في الماء. وتؤثر كلا خصائص الحجم والسطح للمواد المعلقة على عمليتي الإمتصاص والتشتيت هذه.

في المياه السطحية، تنتج العكورة في الغالب من تجريف كميات ضئيلة من المواد الغروية (شظايا الصخور، والطمي، والطين، وأكاسيد المعادن من التربة). كما يمكن أن تساهم الكائنات الحية المجهرية والمواد الخضرية بدورها في العكورة. أما في المياه الجارية، فتتداخل العكورة مع نفاذ الضوء وتفاعلات

التخليق الضوئي الضرورية للنباتات المائية. كذلك تعد العكورة مؤشراً هاماً على جودة المياه في مجال معالجة المياه.

اللون Colour

عادة ما يستخدم لون الماء والذي هو خاصية فيزيائية في الحكم على جودة المياه. الماء النقي عديم اللون. ويكتسي الماء بلون المواد الغريبة عليه: المواد العضوية الأتية من التربة، والنباتات، والمعادن، والكائنات الحية المجهرية والموجودة فيه. وبصورة كبيرة، ينتج **لون** الماء من خليط المركبات العضوية الغروية التي تمثل نواتج تفكك المركبات ذات الأوزان الجزيئية الأعلى التي تنتجها الخلايا الحية. خذ على سبيل المثال، الماء ذا اللون المصفر أو لون الشاي. مصدر هذا اللون هو النباتات المتحللة المتسربة من مستجمعات مياه الأمطار بواسطة الجريان السطحي. وتصنف هذه المواد العضوية بصورة عامة على أنها مواد دبالية (كريمر 1988). يمكن أن ينتج اللون أيضاً من نفايات الصناعة ونفايات الصرف الصحي.

يمكن أن يصنف لون الماء على أنه لون حقيقي أو ظاهري. الملون الحقيقي للماء هو اللون الناتج بصورة جزئية من المواد المذابة التي تتبقى بعد إزالة المواد الصلبة المذابة. واللون الظاهري هو اللون الذي تتسبب فيه المواد المعلقة. وفي معالجة المياه، يعد اللون الحقيقي هو أكثر الألوان إستعصاءاً على الإزالة (سبيلمان 1998).

وفي العادة لا تتقبل العامة الماء الملون. ويميل الناس الى تفضيل المياه الصافية الخالية من الألوان. والمشكلة الأخرى المرتبطة بلون المياه هي أثرها على التصنيع، والنسيج، وإعداد ومعالجة المياه، وصناعة الورق، وغسيل الملابس. للون الماء تأثير عميق على درجة تسويقه سواء للإستخدام المحلي

أو الصناعي. ولا يعتبر اللون عادة ، في مجال معالجة المياه، دليلاً على عدم ملائمة المياه للصحة أو على كون الشرب منها غير آمن، بل يعد اللون مشكلة معالجة ترتبط بزيادة الطلب على الكلور، الذي يقلل من فعاليته في التعقيم. تشمل بعض هذه العمليات التي تستخدم في معالجة المياه الملونة الترشيح، والتنعيم، والأكسدة، والكلورة، والإدمصاص.

المذاق والرائحة Taste and Odor

يستخدم مصطلحاً **المذاق** و**الرائحة** سوية في التعبيرات الدارجة لعلم المياه العذبة. وفيما يخص مياه الشرب، لا يلقي بالكثير من الإهتمام لمذاق الماء ولرائحته حتى يبدأ المستهلكين في الشكوى. والمشكلة هي أن المستهلكين يرون أن وجود أي لون في الماء يجعله غير مقبول من الناحية الجمالية. لا يتسبب المذاق والرائحة عادة في مشاكل صحية، إلا أنهما يدفعان المستهلكين للبحث عن مياه أخرى لا مذاق ولا رائحة لها، بيد أنها غير صحية. وواقع الأمر هو أن المستهلكين يتوقعون أن يكون الماء لا مذاق ولا رائحة له، وإذا لم يكن كذلك فإنهم ينظرون اليه بإعتباره دون المستوى. وإذا ما أحس المستهلك بوجود مذاق للماء أو اشتم رائحته فإنهم يربط بصورة تلقائية بين المذاق والطعم وبين التلوث (سبيلمان 1998).

تعزى ملوثات المياه الى تماس الماء مع المواد الطبيعية (الصخور، والنباتات، والتربة، الخ...) والى الأنشطة البشرية. ينتج المذاق والرائحة من المواد الغريبة على الماء: المركبات العضوية، أو الأملاح الغير عضوية، أو الغازات المذابة. ومرة أخرى نقول إن هذه المواد قد تنتج من مصادر محلية، أو زراعية، أو طبيعية. وتتسبب بعض المواد التي توجد بصورة طبيعية في المياه الجوفية، والتي قد تكون غير مضرة بالضرورة، في إضفاء طعم غير مستحب على الماء

أو إكسابه صفة أخرى غير مرغوبة. وتمثل كبريتات الماغنيزيوم، وكبريتات الصوديوم، وكلوريد الصوديوم بعض أفراد هذه المجموعة (كوربت 1990).

حينما يكون للماء مذاق لا تصاحبه رائحة فإن هذا يعني في العادة وجود ملوث غير عضوي فيه. ويكون الماء ذا المذاق المر قاعدياً في العادة، بينما ينتج الماء المالح من الأملاح التي سبق ذكرها. غير أنه حينما يكون للماء مذاق ورائحة فإن هذا يعني وجود تلوث بمادة عضوية. وقائمة الملوثات العضوية المحتملة طويلة جداً بحيث لا يتسع المجال لسردها هنا؛ إلا أن المنتجات العضوية من مشتقات البترول تتصدر قائمة المذنبين. تنتج المواد السائلة والغازات التي تعطي الماء مذاقاً ورائحة تنتج من التحلل الحيوي للمواد العضوية. وأحد أهم الأمثلة لهذا النوع من الملوثات هو كبريتيد الهايدروجين، المعروف برائحته ومذاقه المميزين، رائحة ومذاق "البيض الفاسد". إضافة الى ما سبق، هناك الكثير من الروائح المميزة الشائعة (إنظر الجدول 2.15).

تشمل المذاقات والروائح غير المرغوبة التي تتسبب فيها الأنشطة الحيوية تلك التي تساهم بها الأنواع المختلفة من الطحالب (على سبيل المثال، داياتوميسيا، وأستينيريولا، وسينديرا، والبروتوزوا: سينيورا، دانيوبايرون، وسيانوفايسا: أنابيا، أفانزوميمزن؛ والكلوروفايسا: فولفوكس، ستاتراسوم).

الجدول 2.15. أصناف الروائح الكريهة التي تصادفنا عادة في الماء

المركب	**الصفة المميزة**
الأمينات	رائحة السمك
النشادر	رائحة نشادرية
ثنائية الأمين	رائحة السمك المتفسخ

كبريتيد الهيدروجين	البيض الفاسد
مركبات الكبريت	إفرازات الظربان
الكبريتيدات العضوية	الكرنب الفاسد
سكاتول	رائحة البراز

مأخوذ من آر، دبليو مانكريف. الحواس الكيميائية، 1967

والدايتومات، والأكتينومايسات التي تنتج المركبات العضوية الجانبية، مثل الزيوت الأساسية، والتي يمكن ملاحظتها تحت المجهر. يتسبب إطلاق هذه المواد في الماء، خصوصاً عندما تنفق كميات كبيرة من الكائنات الحية، في إنتاج مذاقات وروائح كريهة (كيمر 1988).

الأكسدة (باستخدام برمنجنات البوتاسيوم والكلور) هي إحدى الأساليب الشائعة المستخدمة لإزالة المذاق والرائحة في مجال معالجة المياه. إحدى طرق المعالجة القياسية الأخرى هي إمداد الإنسياب بالكربون المنشط قبل إجراء عملية الترشيح. للكربون المنشط عدد كبير من الفتحات التي تدمص المكونات المسببة للروائح والمذاقات.

درجة الحرارة Temperature

يفضل معظم الناس مياه الشرب التي تكون باردة بصورة منتظمة، وتلك التي لا تتذبذب درجة حرارتها الا في مستوى محدود. تستوفي المياه الجوفية من المناطق الجبلية هذه المواصفات. والمياه التي تتراوح درجة حرارتها بين 10 درجات مئوية و15 درجة مئوية (50 و60 درجة فهرنهايت) هي أكثر المياه إستساغةً (كوربت 1990).

تضاف الحرارة للمياه السطحية والجوفية بعدة طرق. وبعض هذه الطرق طبيعية، وبعضها الآخر إصطناعي. تؤثر الحرارة أو درجة الحرارة الزائدة على ذوبانية الأوكسجين في المياه، وعلى معدل النشاط البكتيري، وعلى المعدل الذي تنتقل به الغازات من والى الماء.

عند إجراء الفحوص الجدية على المياه (من أجل تحديد صلاحيتها للإستهلاك)، لا تعد درجة الحرارة في العادة واحدةً من العوامل التي تستخدم في عملية التقييم. الا أن درجة الحرارة هي واحدة من أهم العوامل ذات الصلة بأنظمة المياه السطحية الطبيعية، والتي تتعرض لتغيرات كبيرة في درجات حرارتها. تؤثر درجة الحرارة كذلك على عدد من عوامل جودة المياه المهمة الأخرى. إذ تؤثر درجة الحرارة على المعدل الذي تذوب به المواد الكيميائية وعلى معدل تفاعلها. وحينما تكون المياه باردة ، فإنه يحتاج الى المزيد من المواد الكيميائية من أجل إحداث التخثر الفعال. وحينما تكون درجة حرارة الماء مرتفعة فإن هذا يترتب عليه إرتفاع الطلب على الكلور بسبب الفعالية المتزايدة، وبسبب المستويات المرتفعة من الطحالب والمواد العضوية الأخرى الموجودة في الماء غير المعالج. ولدرجة الحرارة كذلك تأثير كبير على ذوبانية الغازات في الماء.

ولدرجة حرارة الوسط المحيط (درجة حرارة الجو المحيط) أكبر الأثر وأعظمه على درجة حرارة أنظمة المياه الطبيعية الضحلة. وحينما تستخدم المياه في الصناعة من أجل تخفيف درجة حرارة النفايات، فإن ذلك قد يقود الى تعرض نقطة التفريغ دراماتيكية لتغيرات في درجات الحرارة الموضعية. وتشمل المصادر الأخرى لدرجات الحرارة المتزايدة في أنظمة المياه الجارية ممارسات

قطع الغابات (التي تزال فيها الستر الحامية) وترجع بها مياه الري لأجسام المياه الجارية.

يعتقد معظم الناس في أفكار خاطئة ذات صلة بدرجة حرارة الماء. وبالرغم من أن المياه الجوفية تبدو "باردة" نسبياً في الصيف ودافئة في الشتاء، الا أن درجة حرارة هذه المياه تظل ثابتة تقريباً طوال أيام السنة. وإحساس الناس بدرجة الحرارة يعتمد بصورة نسبية على درجة حرارة الهواء، والتغيرات الطفيفة في درجات الحرارة لا يمكن الكشف عنها بسهولة. وعلى عكس الإعتقاد الشائع، لا يؤدي حفر آبار أعمق الى الحصول على مياه أبرد. وعند تخطي علامة عمق المائة قدم، تبدأ درجة حرارة المياه الجوفية في الزيادة بصورة ثابتة بمعدل 0.6 درجة مئوية (1 درجة فهرنهايت) لكل 100 قدم أو ما يقاربها من العمق. وقد يزيد هذا المعدل بصورة دراماتيكية في المناطق البركانية.

الخصائص الكيميائية للماء Chemical Characterstic of Water

تشمل العوامل الأخرى التي تستخدم لتعريف جودة الماء خصائصه الكيميائية. تغير طبيعة الصخور المكونة للقشرة الأرضية من التركيب الكيمئيائي للماء. ومع تسرب المياه السطحية الى الأسفل في اتجاه مستوى المياه الجوفية تذوب وتحمل معها أجزاءاً من المعادن الموجودة في الترىات وفي الصخور. ويتسبب هذا الأمر في كون المياه الجوفية أكثر إمتلاءاً من حيث محتواها من المعادن المذابة مقارنة بالمياه السطحية. ويؤثر كل مكون كيميائي من مكونات الماء عل استخدامات الماء بطريقة ما، إما عن طريق تغيير طريقة إستخدامه أو بواسطة الحد منها (إنظر الجدول 3.15 لمكونات الماء).

الماء والذي يدعى بالمذيب العالمي، هو مذيب بسبب خواصه الكيميائية. ويفحص محللوا المياه الإمداد المائي لتحديد خصائصه الكيميائية؛ ولتحديد ما

إذا كانت توجد به مواد ضارة؛ ولتحديد ما إذا كانت به مواد لها المقدرة على نعزيز عملية الحت (للمعادن الموجودة في سخانات المياه، على سبيل المثال)؛ ولتحديد ما إذا كانت المواد المسؤولة عن تكوين البقع على الملابس وعلى التوصيلات الموجودة في الماء. وتتحدد طبيعة التحليل الذي يتوجب إجراؤه على الإمداد المائي من قبل معايير مياه الشرب المنبثقة لخدمة الصحة العامة الصادرة عن مصلحة الرعاية الإجتماعية والتعليم والصحة في الولايات المتحدة.

إضافة للعناصر المذكورة في الجدول 3.15 والمواد السامة، يعنى مديروا جودة المياه بوجود المواد الصلبة المذابة الكلية، وبالقاعدية، وبالعسر، وبالفلوريدات، والمعادن، والمواد العضوية، والمغذيات التي قد توجد في الإمداد المائي. سوف نناقش هذه العوامل الكيميائية في الأقسام القادمة.

المواد الصلبة المذابة الكلية Total Dissolved Solids (TDS)

تأتي المواد الصلبة المذابة الكلية من الصخور ومن التربة عند مرور الماء فوقها وعبرها. تمثل المواد الصلبة المذابة الكلية المقاسة جزءاً من المواد الصلبة الكلية الموجودة في الماء؛ وهي الجزء المتبقي من عينات الماء بعد ترشيحها أو تبخيرها، ويعبر عنها بالمجم/لتر.

المواد الصلبة المذابة الكلية هي عامل مهم من عوامل جودة المياه، وتستخدم بصورة شائعة في قياس الملوحة. وبصورة تقريبية يبلغ مجموع المواد الصلبة المذابة الكلية في المياه العذبة ما يقل عن 1500 مج/لتر (يبلغ التركيز الأقصى الموصى به للمواد الصلبة المذابة الكلية في مياه الشرب 500 مج/لتر)؛ ويصل تركيز المواد الصلبة المذابة الكلية في المياه قليلة الملوحة ما يصل الى 5000 مج/لتر؛ وما يفوق 5000 مج/لتر للمياه المالحة. وتحتوي مياه البحار على 30000–34000 مج/لتر (تكوبانغلوس وشرودر 1987).

قد تكون المواد الصلبة المذابة مواداً عضوية أو غير عضوية. وقد يتماس الماء مع هذه المواد داخل التربة، وعلى سطحها، و/أو في الغلاف الجوي. وقد تأتي المكونات العضوية المذابة في الماء من تفكك (تفسخ) منتجات النباتات، والمواد العضوية، والغازات العضوية.

يمكن إزالة المواد الصلبة من الماء بواسطة التقطير، والديلزة الكهربائية، والتناضح العكسي، والتبادل الأيوني. تعد إزالة المعادن المذابة، والغازات، والمكونات العضوية أمراً مرغوباً فيه لأن هذه المواد قد تنتج عنها آثار فسيولوجية وألوان ، ومذاقات، وروائح كريهة.

قد تظن أن إزالة هذه المواد المذابة بصورة كلية هو أمر مرغوب فيه، إلا أن مثل هذه الخطوة هي تصرف غير حكيم. الماء النقي، المنقى عديم النكهة. أيضاً يوجد الماء في حالة إتزان فيما يخص المكونات المذابة فيه. وإذا خرج الماء من حالة الإتزان تلك أو أصبح غير مشبع، فإنه يمتلك المقدرة على إذابة المواد التي يتماس معها. وبسبب هذه المشكلة بالتحديد، تضاف بعض المواد التي تذوب بسهولة الى الماء النقي لتقليل ميله لإذابة توصيلات السباكة.

القاعدية Alkalinity

تضفى **القاعدية** على الماء بواسطة البيكربونات، والكربونات، والهايدروكسيدات، وهي مقياس لمقدرة الماء على امتصاص أيونات الهيدروجين بدون أن يغير ذلك من الأس الهيدروجيني. ويمكن القول بصورة أخرى، إن القاعدية هي مقياس لمقدرة الماء على العمل كمادة منظمة. تقيس القاعدية مقدرة الماء على معادلة الأحماض وهي مجموع كل القواعد التي يمكن أن تتم معايرتها الى أن يبلغ الأس الهيدروجيني 4.5 درجة. تنشأ مكونات القاعدية في

الكربونات والبيكربونات والهايدروكسيدات من ثاني أوكسيد الكربون (الذي ينتج من الغلاف الجوي وينتج كناتج جانبي من تفكيك الكائنات الحية المجهرية للمواد العضوية) ومن المعادن (بصورة رئيسية من المركبات الكيميائية المذابة من الصخور ومن التربة).

لا يعرف وجود أثر صحي كبير للمياه ذات القاعدية المرتفعة إلا أنها غير مستساغة للشرب. والمشكلة الأساسية في المياه القاعدية هي التفاعلات التي تحدث بين القاعدية وبين بعض المواد الموجودة في الماء. إذ يمكن للرواسب الناتجة من هذه التفاعلات أن تفسد مظهر الماء. تؤثر مستويات القاعدية كذلك على فعالية بعض عمليات معالجة المياه، خصوصاً عمليات التخثر.

العسرة Hardness

عسرة الماء هو أمر مألوف لأولئك الذين يغسلون أيديهم بلوح من الصابون ويكتشفون أنهم بحاجة الى المزيد من الصابون "للحصول على رغوة". ولهذا السبب، كان يشار الى عسرة الماء بقوة إستهلاك الصابون.

عسرة الماء هو وجود أيونات موجبة متعددة التكافؤ، وأهمها هي أيونات الكالسيوم والمغنيزيوم. يصنف العسرة الى **عسرة كربونات** و**عسرة غير الكربونات.**

ويطلق على الكربونات التي تكافئ القاعدية عسرة الكربونات. وقد تكون العسرة مؤقتة أو دائمةً. يمكن إزالة عسرة الكربونات (العسرة المؤقتة) عن طريق عملية الغلي. بينما لا يزيل الغلي عسرة غير الكربونات التي يسمى العسرة الدائمة.

<u>الجدول 15.3 المكونات الكيميائية شائعة الوجود في الماء</u>

الكالسيوم	الفلورايد
الماغنيسيوم	النترات
الصوديوم	السيليكا
البوتاسيوم	مجموع المواد الصلبة المذابة الكلية
الحديد	العسر
المانجنيز	اللون
البيكربونات	الأس الهيدرجيني
الكربونات	العكورة
كلوريدات الكبريت	درجة الحرارة

الجدول 4.15 مدى عسرة الماء

مدى العسر (مج/لتر (جمم) ككربونات كالسيوم	التصنيف الوصفي
1−50	يسر
51−150	متوسط العسرة

300−151	عسر
فوق 300	شديد العسر

يعبر عن قيم العسرة في هيئة المقادير المكافئة أو الأوزان المكافئة لكربونات الكالسيوم (الوزن المكافئ لمادة ما هو وزنها الذري أو الجزيئي مقسوماً على عدد). والمياه التي تقل عسرتها عن 50 جغم تعد مياه **يسرة**. وإذا ما تخطت عسرة إمدادات المياه 200 جغم، فإنها تمزج من أجل إنقاص قيمة العسرة. تستخدم هيئة المسح الجيولوجي للولايات المتحدة التصنيف التالي.

للعسرة أثر إقتصادي، سواءاً في إستهلاك الصابون أو في مشاكل الخزانات والأنابيب. وحينما تستخدم صابونة في ماء عسرة فإنك تستهلك هذه الصابونة الى أن تتكون رغوة. وحيمنا تتكون تلك الرغوة فإن هذا يعني أن الصابون قد ألان الماء. الا أن الرواسب التي تتكون من العسرة ومن الصابون (رواسب الصابون) تلتصق بكل شيئ (البانيوهات، وأحواض الغسيل، وغسالات الصحون) كما أنها قد تكون البقع في الملابس، والصحون والأغراض الأخرى. يؤثر العسرة كذلك على الأشخاص بصورة شخصية: قد تمكث الرواسب المتكونة من الصابون وعسر الماء في مسامات الجلد، الشيء الذي قد يتسبب في جعل الجلد خشناً وغير مريح. في عالم اليوم، تم التخفيف بدرجة كبيرة من هذه المشاكل بسبب التطورات التي حدثت في الصابون الصناعي ومساحيق الغسيل التي لا تتفاعل مع العسر. الا أنه ما زال من الممكن أن تتسبب العسرة في مشاكل أخرى، مثل تكوين القشرة، والأثر المسهل. تتكون **القشرة**، عندما يسخن ماء الكربونات العسرة وتترسب كربونات الكالسيوم وهايدروكسيد المغنيزيوم من المحلول مكونة قشرة صلبة كصلابة الصخر تسد أنابيب الماء

الساخن وتقلل من فعالية المراجل، وسخانات المياه، ومبادلات الحرارة. كما أن بمقدور العسر، خصوصاً إذا ما وجدت كبريتات المغنيزيوم، أن يؤدي الى حدوث حالات إسهال لدى المستهلكين الجدد.

يشير روي (Rowe) وعبد المجيد (Abdel–Magid) (1995) الى أن لإستخدام الماء العسرة عدة فوائد. تشمل الآتي (1) يساعد الماء العسرة على نمو الأسنان والعظام، (2) يقلل عسرة الماء من أثر سمية الأنابيب المصنوعة من الرصاص، و(3) كما يشك في ارتباط الماء اليسر بالأمراض القلبية.

الفلوريد Fluoride

نادراً ما يوجد الفلوريد في المياه السطحية بكميات تستحق الذكر، ويوجد في المياه الجوفية في بعض المناطق الجغرافية، بالرغم من أنه يوجد أحياناً في بعض أنواع الصخور النارية أو الرسوبية. ويمكن لبعض أنواع النباتات التي تستخدم في الأعلاف أن تخزن وتركز الفلوريد. وتبتلع الحيوانات التي تتغذى على هذه النباتات جرعة زائدة كبيرة من الفلوريد. تصبح أسنان هذه الحيوانات مبقعة، وتهزل، وتصبح أقل إدراراً للحليب، وتبرز عظامها، وتصبح معاقة بحيث يتحتم التخلص منها (كورن 1991).

تفيد التراكيز المنخفضة من الفلوريد في التحكم بتسوس الأسنان. ويمكن للمياه التي تحتوي على التركيز المناسب من الفلوريد أن تقلل من تسوس الأسنان بنسبة 65% لدى الأطفال اللذين تتراوح أعمارهم بين الثانية عشرة والخامسة عشرة. وأصبحت إضافة الفلوريد بحيث يخلف تركيزاً متبقياً يتراوح بين 1.5 و2.5 مج/لتر ممارسة شائعة في منشأآت مياه الشرب. الا أن تراكيز الفلوريد التي تفوق 5 مج/لتر تعتبر مهددة للصحة وتمنعها معايير المياه.

كيف تعمل إضافة الفلوريد لمياه الشرب على التقليل من تسوس الأسنان؟ يتحد الفلوريد بطريقة كيميائية مع طبقة مينا الأسنان أثناء تكون الأسنان الدائمة. ونتيجة ذلك بطبيعة الأمر هي، تكون أسنان أقوى، وأكثر صلابة تكون أكثر مقاومة للتسوس. ولا تتأثر أسنان الناضجين بالفلوريد.

تضع وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة الأمريكية الحدود القصوى للفلوريد بناءً على درجات حرارة الوسط المحيط، لأن الناس يشربون مياهاً أكثر في المناخات الأكثر دفئاً. ويجب أن تكون تراكيز الفلوريد أقل في هذه المناطق.

الفلزات Metals

عادة ما يوجد الحديد والمغنيزيوم في المياه الجوفية، الا أن هذه الفلزات قد توجد بكميات كبيرة أيضاً في المياه السطحية. تقسم الفلزات الموجودة في الماء لصنفين: مسمة وغير مسمة. فقط العناصر التي تكفي كميات ضئيلة نسبية منها لإحداث الضرر تصنف كعناصر مسمة؛ بينما تصنف العناصر الأخرى على أنها غير مسمة. وفي المياه الطبيعية، تشمل مصادر الفلزات الزوبان من الترسبات الكبيعية وتفريغات مياه النفايات المحلية، والزراعية، والصناعية.

تشمل الفلزات غير السامة الموجودة بصورة شائعة في المياه أيونات العسرة (الكالسيوم والمغنيزيوم)، والحديد، والألمونيوم، والنحاس، والزنك، والصوديوم. والصوديوم (الموجود بكثرة في القشرة الأرضية والذي يتفاعل بشدة مع العناصر الأخرى) هو الى درجة كبيرة أكثر الفلزات غير المسمة شيوعاً في المياه الطبيعية. تسبب أملاح الصوديوم (حين تكون تركيزاتها مرتفعة) الطعم المر في المياه كما أنها تشكل خطراً صحياً على مرضى الكلى والمصابين بأمراض القلب. تسمح الحمية المعتادة منخفضة الصوديوم بوجود تركيز يصل الى 20

مج/لتر من الصوديوم في مياه الشرب. كما أن التركيزات العالية من الصوديوم تتسبب في تسمم النباتات.

و بالرغم من أن التركيزات المنخفضة من الحديد والمنغنيز في المياه الطبيعية قد تتسبب في مشاكل لونية، الا أن هذين العنصرين يوجدان سوية في العادة ولا يتسببان في حدوث مشاكل صحية. الا أن بعض أنواع البكتيريا تستخدم مركبات المنغنيز لإنتاج الطاقة، الشيء الذي يتسبب في تكوين نوع من الوحل قد يتسبب في مشاكل مذاق ورائحة. والحد الموصى به هو 0.3 مغ/لتر من الحديد و0.05 غلتر من المنغنيز.

توجد كميات منخفضة جداً من الفلزات غير المسمة الأخرى في الأنظمة المائية. وتتسبب هذه الفلزات في تكوين روائح كريهة قبل أن تصل تراكيزها الى المستويات السامة.

و لحسن الحظ، توجد الفلزات السامة، في تراكيز ضئيلة فقط في معظم أنظمة المياه. لكن حتى مع قلة تراكيزها، يمكن لهذه الفلزات السامة أن تشكل خطراً على البشر وعلى الكائنات الحية الأخرى. الزرنيخ، والباريوم، والكادميوم، والكروم، والرصاص، والزئبق-كلها سموم تراكمية- وكلها تشكل خطراً على صحة البشر. تمرر هذه السموم التي تركز في أجسام الكائنات الحية الى أعلى السلسلة الغذائية وتمثل خطراً يكون أكبر ما يمكن على الكائنات الموجودة في قمة السلسة.

المادة العضوية Organic Matter

المادة العضوية (صنف عريض) يشمل المركبات الطبيعية والمصنعة التي تحتوي على الكربون، وعادة ما تحتوي على الهيدروجين. كل المادة الحية مصنوعة من الجزيئات العضوية. وبعض هذه الجزيئات العضوية تذوب بشدة

في الماء (الكحولات والسكر مثال جيد لهذا النوع) أو قد تكون غير ذائبة (البلاستيك).

يشير تكوبانغلوس وشرودر الى أن وجود المواد العضوية في الماء مثير للقلق للأسباب الآتية."(1) تكون اللون، (2) مشاكل الروائح والمذاق، (3) نضوب الأوكسجسن في الجداول، (4) التداخل مع عملية معالجة المياه، و(5) تكون مركبات الهالوجينات عند إضافة الكلور بغرض تعقيم المياه" (1987، 94).

والمصدر الرئيسي للمادة العضوية في الماء–بالرغم من أن كمياته الكلية في الماء قليلة– هو النباتات المتحللة (الأوراق، والأعشاب، والأشجار).

يشمل صنف المواد "العضوية" الموجودة في المياه الطبيعية المادة العضوية التي يمكن أن يرجع منشأها الى مصدر طبيعي أو الى الأنشطة البشرية. ومن الأهمية بمكان أن نميز بين المواد العضوية التي تنتج بصورة كاملة من المركبات الطبيعية وتلك المركبات التي صنعها البشر (مبيدات الآفات والمركبات العضوية المخلقة الأخرى مثلاً).

هذه المواد الطبيعية الذائبة في الماء تقوم في العادة بتلويث المياه السطحية فقط. وتقسم المواد العضوية المذابة الى صنفين: قابلة للتحلل الحيوي وغير قابلة للتحلل الحيوي.

تتكون المواد القابلة للتحلل الحيوي (التي تميل للتفكك) من المواد العضوية التي يمكن أن تستخدم كمغذيات (غذاء) للكائنات المجهرية الموجودة بصورة طبيعية في فترة زمنية محددة. تتكون هذه المواد في العادة من الكحولات، والأحماض، والنشا، والدهون، والبروتينات، والإسترات، والألدهيدات. ويمكن أن تنتج هذه المركبات من تفريغات مياه الصرف الصحي من المصادر المحلية أو الصناعية، أو قد تكون هي المنتج الأخير لعملية التفكك الأولي لأنسجة

النباتات أو الحيوانات. والمشكلة الرئيسية ذات الصلة بالمواد العضوية القابلة للتحلل الحيوي هي الأثر الناتج من فعل الكائنات الحية المجهرية. بينما تشمل المشاكل الثانوية مشاكل اللون، والمذاق، والرائحة.

تتطلب الإذابة الفعالة للمواد العضوية أن تستخدم الكائنات الحية المجهرية عمليتي الأكسدة والإختزال. في عملية الأكسدة، يضاف الأوكسجين أو يزال الهيدروجين من الذرات المكونة للمركب العضوي. وتحدث عملية الإختزال عندما يضاف الهيدروجين أو يزال الأوكسجين من عناصر المركب العضوي. وعملية الأكسدة، هي الى حدٍ، كبير، هي العملية الأكثر فعالية وهي كذلك العملية السائدة حينما يتوفر الأوكسجين. في **البيئات الهوائية** (التي يوجد فيها الأوكسجين)، تكون النواتج النهائية لعملية تفكيك المركبات العضوية بواسطة الأحياء المجهرية مركبات ثابتة ومقبولة. ينتج التفكك اللاهوائي (في غياب الأوكسجين) مركبات غير ثابتة وغير مقبولة.

عادة ما تحدد كمية المواد العضوية المستهلكة للأوكسجين في الماء بواسطة قياس الطلب الحيوي على الأوكسجين: وهو كمية الأوكسجين المذاب الذي تحتاجه المفككات الهوائية لتفكيك المادة العضوية الموجودة في حجم معطى من الماء على امتداد فترة احتضان تبلغ خمسة أيام عند درجة حرارة تبلغ 20 درجة مئوية (6 درجات فهرنهايت).

تشمل المواد العضوية غير القابلة للتحلل (المقاومة للتفكك الأحيائي ولذا تعتبر مواداً مقاومة) مكونات النباتات الخشبية (التانين، وحمض اللجنيك، والفينولات، والسيليولوز) والتي توجد في أنظمة المياه الطبيعية. بعض السكريات المتعددة بروابطها القوية بصورة خاصة، إضافة الى البنزين ببنيته الحلقية هي غير قابلة للتحلل الحيوي بصورة أساسية. وبعض المواد العضوية تكون مسمة للكائنات الحية ولذا فهي غير قابلة للتحلل الحيوي. تشمل هذه المبيدات العضوية،

والمركبات التي تحتوي على الكلور. حظيت مبيدات الحشرات ومبيدات الأعشاب باستخدام واسع في الزراعة، وفي الغابات، وفي التحكم بالبعوض. وتتلوث الجداول السطحية بهذه الملوثات عن طريق الجريان السطحي وعن طريق غسلها بواسطة مياه الأمطار. هذه المواد المسمة مضرة ببعض الأسماك، وبالأسماك الصدفية، وبالطيور المفترسة، وبالثديات. كما أن بعضها مسم للبشر.

يمكن لبعض المواد الكيميائية غير القابلة للتحلل الحيوي أن تتفاعل مع الأوكسجين المذاب في الماء. والطلب الكيميائي على الأوكسجين–مقدار الأوكسجين الذي يحتاج للأكسدة الكيميائية للنفايات–هو مقياس أكثر إكتمالاً ودقة للنضوي الكلي للأوكسجين المذاب في الماء.

المغذيات Nutrients

المغذيات هي عناصر (الكربون، والنيتروجين، والفسفور، والكبريت، والكالسيوم، والحديد، والبوتاسيوم. (المنغنيز، والكوبالت، والبورون) أساسية لنمو وتكاثر النباتات والحيوانات. وتعتمد الأنواع الحية المائية على بيئتها المائية لتزويدها بالمغذيات. الا أنه من وجه نظر جودة المياه، يمكن اعتبار المغذيات ملوثات حين يكون تركيزها كافياً لتشجيع النمو الزائد للنباتات المائية وللطحالب. والمغذيات التي يكثر الطلب عليها بشدة بواسطة أنواع الكائنات الحية المائية هي الكربون، والنيتروجين، والفسفور. تحتاج النباتات، بصورة خاصة، الى كميات ضخمة من كل من هذه المغذيات الثلاث، وإذا لم يتوفر ذلك فإن نمو النباتات يصبح **محدودا**.

يتوفر الكربون بسهولة من عدد من المصادر الطبيعية وتشمل هذه القاعدية، والمركبات الناتجة من تحلل المادة العضوية، وثاني أوكسيد الكربون من الغلاف الجوي. ولأن الكربون عادة ما يتوفر بسهولة، فإنه نادراً ما يكون العامل المحدد (العامل الأقل توفراً بالنسبة لاحتياجات النبات) (ماسترز 1991). مفهوم المغذي المحدد مهم لأنه يدل على أن التعرف على وتقليل إمداد مغذي محدد يمكن أن يتحكم بنمو الطحالب. وفي معظم الحالات يكون النتروجين والفسفور عاملا نمو أساسيان، كما أن هذين العنصرين هما العاملان المحددان لنمو النباتات المائية. وبحسب، ويلش (1980)، عادة ما يحد ماء البحر بالنتروجين، بينما تحد أنظمة المياه العذبة بالفسفور.

غاز النتروجين (N_2)، الذي يتميز بثباتية فائقة، هو المكون الأساسي للغلاف الجوي للأرض. تشمل المصادر الرئيسية للنتروجين في الماء الجريان السطحي من معالف الحيوانات، والجريان السطحي للمخصبات من الحقول الزراعية، وتفريغات مياه الصرف الصحي، وبعض أنواع البكتيريا والبكتيريا الزرقاء المخضرة التي تتحصل على النتروجين مباشرة من الغلاف الجوي. كما يمكن أن تساهم أنواع معينة من المطر الحمضي بالنتروجين للمياه السطحية.

في الماء، عادة ما يوجد النتروجين في هيئة نترات (NO_3). يمكن للنترات الموجودة في مياه الشرب أن تؤدي الى مشاكل جدية، خصوصاً مشكلة التلوث بالنترات. ويعتبر الرضع وصغار الحيوانات الأكثر تعرضاً للتلوث بالنترات، الذي يمكن أن يؤدي الى أمراض جدية أو حتى الى الموت إذا ما حولت البكتيريا التي توجد في العادة في القناة المعوية النترات الى النترايت (NO_2) شديد السمية. يمكن للنترايت أن يحل محل الأوكسجين في مجرى الدم الشيء الذي يمكن أن يؤدي الى عوز الأوكسجين الذي يؤدي الى إزرقاق الرضع (متلازمة"الطفل الأزرق").

في أنظمة المياه السطحية، يعتبر النتروجين (و الفسفور في هيئة الفوسفات) مادة كيميائية يمكن أن تحفز النمو الحيوي ويمكن تصنيفه على أنه **محفز حيوي**. وكمحفزات حيوية (مشتقة من المخصبات ومن مساحيق الغسيل)، يعمل النتروجين والفسفور كشوائب يمكنها أن تتسبب في زيادة كبيرة للتخثث (أو الموت البطيئ) لجسم مائي. **تخثث** (Eutrophication) الأنظمة المائية، خصوصاً البحيرات، هو في العادة ظاهرة طبيعية تحدث مع مرور الزمن. تؤدي الزيادة في المحفزات الحيوية (النتروجين، وخصوصاً الفوسفات، أو أي مادة مغذية أخرى تحد من النمو) إلى تسريع وتيرة التخثث، وتؤثر بذلك على العملية الطبيعية.

يمكن للتخثث أن ينتج حينما تتلقى الإزدهارات الطحلبية كميات كبيرة من النتروجين أو الفسفور (أو من كلاهما) وتنمو بصورة غير متحكم بها. وحينما تخرج العمليات الحيوية عن السيطرة، فإن الطبيعة تتدخل وتخفف من وطأة المشكلة. تموت الإزدهارات الطحلبية عند نهاية موسم النمو، ثم تتفكك وتوفر مصدراً غنياً للمواد العضوية للبكتيريا. ومع توفر إمدادت الغذاء تنمو البكتيريا بصورة أسية، وتستهلك الأوكسجين المذاب أثناء هذه العملية. ومع استهلاك إمدادات الغذاء، تتراكم منتجات النفايات، ثم تبطأ العملية. (يناقش الفصل السادس عشر هذه العملية بتفصيل أكثر).

الخصائص الحيوية للماء Biological Characterstics of Water

إضافة الى إهتمامهم بالعوامل الفيزيائية والكيميائية لجودة المياه، يعنى ممارسوا علم البيئة أيضاً بالخصائص الحيوية للماء. وهذا الإهتمام بالخصائص الحيوية للماء له ما يبرره حينما تكون صحة ورفاهية الناس الذي يتلقون ويستخدمون المنتج الخارج من "طرف الأنبوب" أو من الحنفية في المحك. تذكر أن الماء قد

يقوم، في هذا السياق، بدور الوسط الذي تقضي فيه الآلاف من الكائنات الحية جزءاً من، إن لم يكن كل دورات حياتها.

لاحظ أن كل أعضاء المجتمع الحيوي المائي تعمل، الى درجة ما، كمؤشر على جودة المياه لأن وجودها أو عدمه يدل بصورة عامة على خصائص جسم مائي ما.

قد يكون للخصائص الحيوية للماء أثر مباشر على جودة الماء. ويشمل هذا الأثر بدرجة أقل تكون الروائح والمذاقات في المياه الجوفية والمياه السطحية وتآكل وفساد الأسطح الناقلة للحرارة في أنظمة التبريد وفي منشآت معالجة المياه. غير أن وجود أو غياب أنواع معينة من الكائنات الحية هو أمر بالغ الأهمية للمتخصصين في مجال المياه. وهذه الكائنات الحية المقصودة هنا هي بالطبع الكائنات الحية الممرضة. والكائنات الممرضة هي كائنات لها القدرة على إصابة البشر أو الحيوانات بالعدوى أو نقل الأمراض لهم. وهذه الكائنات الحية لا توجد في الأصل في الأنظمة البيئية، وتحتاج في العادة لمضيف حيواني (حامل) من أجل نموها وتكاثرها. ويمكن أن– يحدث في الواقع أن تنقل هذه الكائنات الحية بواسطة الأنظمة المائية. تشمل الكائنات الممرضة المنقولة بواسطة المياه أنواع البكتيريا والفيروسات، والبروتوزوا، والديدان الطفيلية. سنقدم في الأقسام التالية، وصفاً موجزاً و"أساسياً" لكل واحد من هذه الأنواع، إضافة الى وصف موجز للمفككات والقشريات، والفطريات، والطحالب، والتي هي بدورها كائنات حية مجهرية مهمة في مجال المياه. ويمكن لغير المتمرسين في أساسيات علم الأحياء الدقيقة للأنظمة المائية، كما يمكن لاولئك الذين يحتاجون إلى أن يجددوا معرفتهم بهذه المادة، أن يجدوا تفاصيل إضافية عن الكائنات الحية المجهرية المهمة في مجال المياه في كتاب سبيلمان "علم

الأحياء الدقيقة للعاملين في مجال المياه/و مياه الصرف الصحي" (لانكستر، بنسلفانيا، تيكنومك ببلشنغ كومباني، 1997).

و قبل أن نستهل مناقشتنا لأساسيات أنواع الكائنات الحية المجهرية المائية التي تعنينا في مجال العلم البيئي، إنتبه لأهمية الإلمام ببعض العوامل البيئية التي تؤثر على بيئة هذه الكائنات الحية. على سبيل المثال، يتحتم على العاملين في مجال البيئة الذين يتخصصون في جودة المياه أن يكونوا على دراية بالمتطلبات الغذائية للكائنات الحية المائية.

ولكي تنمو هذه الكائنات الحية في البيئة المائية، ينبغي أن تكون لها القدرة على استخلاص المغذيات التي تحتاجها من أجل عملية التخليق الخلوي ومن أجل إنتاج الطاقة من بيئتها المائية. تتحصل بعض الكائنات الحية على طاقتها من الضوء المستخدم في عملية التخليق الضوئي. والكربون هو المكون الأساسي لكل الكائنات الحية المجهرية المائية (في الواقع، الكربون عنصر أساسي لكل الكائنات الحية). تتحصل بعض الكائنات الحية (النباتات العليا، والطحالب، وبكتيريا التخليق الضوئي) من ثاني أوكسيد الكربون. بينما يتحصل بعضها الآخر (البكتيريا، الحيوانات التي توجد في مناطق معينة، والبروتوزوا، والحيوانات) على الكربون من المادة العضوية. ويتطلب الكثير من الكائنات الحية (الهوائية) الأوكسجين الجزيئي (O_2) من أجل عمليات إستقلابها. ولا تحتاج بعض الكائنات الحية الأخرى (اللاهوائية) للأوكسجين الجزيئي، وتشتق الأوكسجين الذي تحتاجه لتخليق الخلايا من المركبات الكيميائية.

إضافة الى المتطلبات الغذائية للكائنات الحية المجهرية، ضع في اعتبارك تأثيرات العوامل البيئية التي تمت مناقشتها في الأجزاء السابقة من هذا الكتاب. تشمل هذه العوامل التركيب الكيميائي، والأس الهيدروجيني، ودرجة الحرارة والضوء. ولا ينبغي للعامل في حقل البيئة أن يكون على دراية بأنواع الكائنات

الحية المائية التي يمكن أن تعيش في الأنظمة المائية فحسب، بل ينبغي عليه كذلك أن يفهم العوامل الفيزيائية، والكيميائية، والحيوية، التي تحتاجها هذه الكائنات الحية لكي تظل على قيد الحياة.

البكتيريا Bacteria

أشتقت كلمة بكتيريا من الكلمة الإغريقية التي تعني "عصا" أو "عكاز" ويميز هذا الشكل العضوي الكثير من أنواع البكتيريا. البكتيريا كائنات أحادية الخلايا تتكاثر بالإنقسام الى إثنتين (الإنشطار الثنائي). ولكي تحدث عملية التكاثر هذه تحتاج البكتيريا الى الكربون الذي يتحصل عليه من ثاني أوكسيد الكربون في حالة ذاتيات التغذية، التي تخلق المواد العضوية من المركبات غير العضوية باستخدام الطاقة الضوئية أو الطاقة الكيميائية، أو من المركبات العضوية (النباتات الميتة، واللحوم، ومياه الصرف الصحي) في حالة متغايرات التغذية. وتأتي طاقة هذه الكائنات الحية من ضوء الشمس إذا كانت من بكتيريا التخليق الضوئي، أو من التفاعلات الكيميائية إذا كانت من بكتيريا التخليق الكيميائي. توجد البكتيريا في الهواء، والماء، والتراب، وفي النباتات المتعفنة ، وفي أمعاء الحيوانات. وتعد إعتلالات الجهاز الهضمي من الأعراض الشائعة لمعظم الأمراض التي تنقلها البكتيريا الممرضة المنقولة بواسطة المياه.

الفيروسات Viruses

الفيروس هو جسيم معدي يتكون من لب من الحمض النووي (الحمض النووي منقوص الأوكسجين والحمض النووي الريبي) محتوى في غلاف بروتيني. والفيروس كينونة تحمل المعلومات اللازمة لنسخ نفسها، لكن تعوزها الآلية التي تقوم بعملية النسخ. ولذلك، تعد الفيروسات جسيمات طفيلية إضطرارية تحتاج لوجود عائل تعيش عليه. والفيروسات هي أصغر التراكيب الحيوية المعروفة،

ولا يمكن رؤيتها بدون مساعدة المجهر الإلكتروني. وعادة ما يستدل على وجود الفيروسات التي تتسبب في عدوى الإلتهاب الكبدي وتلك المتسببة في شلل الأطفال المنقولة بواسطة الماء باعتلال الجهاز العصبي بدلاً عن إعتلال الجهاز الهضمي.

البروتوزوا Protozoa

البروتوزوا هي كائنات حية متحركة، وحيدة الخلية، ومتكاملة، وذاتية الإحتواء ويمكن أن تكون حرة المعيشة، أو طفيلية، وممرضة أو غير ممرضة. تتراوح أحجام البروتوزوا بين ميكروبين الى عدة مئات من الميكروبات. وهي مخلوقات لها قدرة عالية على التكيف، وتتوزع على نطاق واسع في المياه الطبيعية، والقلة منها فقط تعيش ككائنات طفيلية. ومعظم أنواع البروتوزوا غير مضرة. الا أن قلة منها تتسبب في حدوث الأمراض لدى البشر– وتعد إنتاميبا هيستوليكا (مرض الأميبيا) وقارضيا لامبليا (القارضيا) من الإستثناءات. وتعد القارضيا (التي تنتقل عدواها بشرب المياه السطحية التي لوثتها الحيوانات البرية أو لوثها البشر) هي أكثر الأمراض التي تتسبب فيها البروتوزوا إنتشاراً في العالم (تكوبانغلوس وشرودر 1987). وما لم تتم معالجتها بصورة مناسبة، يمكن للقارضيا أن تصبح مرضاً مزمناً. وتشمل أعراض هذا المرض الإسهال، والغثيان، وسوء الهضم، وكثرة الغازات، والإمتلاء، والفتور، وفقدان الشهية والوزن.

الديدان Worms (Helminths)

الديدان مهمة أيضاً في تقييم جودة المياه فيما يخص أمراض البشر. عادة ما تسكن الديدان في الوحل والطين العضويين. وتحتاج الديدان إلى الهواء، الا أن بمقدورها أن تقوم بأيض المادة العضوية الصلبة التي تقدر الكائنات الحية

المجهرية الأخرى على تفكيكها. ويمكن أن تنتج الملوثات المائية من النفايات البشرية والحيوانية التي تحتوى على الديدان. وتشكل الديدان خطراً، بصورة رئيسية، على الأشخاص الذين يتعرضون لها في المياه غير المعالجة. لذلك يكون السابحون في المياه السطحية الملوثة بمياه الصرف الصحي أو الجريان السطحي لمياه الأمطار الآتي من معالف الحيوانات معرضين للخطر بصورة خاصة. وتعتبر دودة تيوبيفكس من الكائنات الحية التي تستخدم كمؤشرات على درجة التلوث في الجداول.

المفككات (الدولابيات) Rotifers

تمثل الدولابيات (التي تشتق اسمها من الحركة الدائرية للأهداب الموجودة في منطقة الرأس) مجموعة معروفة من أصغر وأبسط الكائنات الحية متعددة الخلايا التي توجد في كل المساكن المائية تقريباً. تتراوح أحجام الدولابيات والتي هي كائنات هوائية فقط ما بين 0.1 الى 0.8 نانوميتر. وتمثل البكتيريا مصدر الغذاء الرئيسي للدولابيات.

القشريات Crustaceans

تعد القشريات المجهرية عضواً مهماً من مجموعة البلانكتونات الحيوانية ولهذا السبب تثير هذه الكائنات الحية إهتمام المختصين في مجال المياه. تتميز القشريات ببنية صدفية صلبة، وهي متعددة الخلايا، وهوائية فقط، كما أنها تنتمي إلى المنتجات الرئيسية التي تتغذى على البكتيريا والطحالب. وهي مهمة لكونها مصدر غذاء للأسماك.

الفطريات Fungi

تكون الفطريات (و مفردها فطر) مجموعة مهمة جداً ومثيرة للإهتمام من الميكروبات الهوائية التي تتراوح أحجامها من الخميرة وحيدة الخلية الى تجمعات

الخلايا الفطرية الكثيفة. لا تعتبر الفطريات نباتات، بل هي صنف متميز من أشكال الحياة ذات أهمية عملية ، كما أنها مهمة في مجال البيئة. ومثلها مثل البكتيريا، تقوم الفطريات باستقلاب المادة العضوية المذابة. والفطريات مهمة لأنها الكائنات الحية المسؤولة بالدرجة الأولى عن تفكيك الكربون في الغلاف الحيوي.

والفطريات فريدة (عند مقارنتها بالبكتيريا) في كونها تستطيع النمو في المناطق التي توجد فيها مستويات رطوبة منخفضة، كما تستطيع أن تنمو في المحاليل التي يوجد فيها أس هيدروجيني منخفض، الشيء الذي يساعد على تفكيك المادة العضوية في البيئات المائية.

الطحالب Algae

تمثل الطحالب مجموعة متنوعة من الكائنات الحية ذاتية التغذية، حقيقية النواة، التي تقوم بعملية التخليق الضوئي التي تحتوي على الكلوروفيل. والمظهر الذي يميز الطحالب من الفطريات هو كلوروفيل الطحالب. تأثر الطحالب على جودة الهواء بإخلالها للتوازن بين الأوكسجين وثاني أوكسيد الكربون في الماء وتأثيرها على مستويات الأس الهيدروجيني ومساهمتها في مشاكل الرائحة والمذاق.

ملخص الفصل

Chapter Summary

إحدى نعم الحياة الحديثة التي نستمتع بها (و لكننا نتجاهلها في العادة) لكونها متوفرة بسهولة، هي الماء النظيف الآمن، الصالح للشرب. وكما يعلم كل شخص حمل الماء أثناء التخييم أو سافر الى بلد يتعذر فيه الحصول على مياه شرب آمنة، أن مجرد مقدرتنا على فتح الحنفية للحصول على الماء هي إحدى أسباب الراحة التي وهبتها لنا التقنية الحديثة. ونحن غير مضطرين لحمل الماء

في دلاء من بئر القرية، أو النهر، أو من بئرك أو نبعك الخاص. كما لا يتوجب علينا أن نغلي المياه أو نخضعها للمعالجة الكيميائية قبل أن نشرب منها أو نستخدمها في الطبخ. كما لا نضطر للسواك باستخدام المياه المعبأة. ونحن نعامل ونعتبر المياه الأمنة باعتبارها أمراً مفروغاً منه، حتى لو اشترينا مياه الينابيع لأننا لا نحب طعم المياه المعالجة الخارجة من الحنفية.

نحن ننسى كذلك أنه حتى في الزمن الذي كانت فيه إمدادات المياه غير ملوثة، بصورة نسبية، قتلت المياه غير الآمنة الكثيرين لأن تقنية اختبار المياه لم تكن متوفرة حينئذ. تسمح لنا الخصائص الفيزيائية، والكيميائية، والحيوية للماء، وفهمنا للقوى التي تعمل على المياه الجوفية والسطحية،بالتحكم في جودة المياه التي نعتمد عليها بصورة مطلقة.

أسئلة المناقشة

Discussion Questions

1. مدى مشاكل جودة المياه التي تواجهنا في الحقل شديدة التنوع. اكتب قائمة بالخصائص الفيزيائية، والكيميائية، والحيوية للماء.
2. إشرح التخثث.
3. كيف تسرع الأنشطة البشرية من معدل التخثث؟
4. واحد من أهم أهداف إدارة جودة المياه هو تقليل آثار الأنشطة البشرية على التخثث. أعط بعض الأمثلة للكيفية التي يمكن أن ينجز بها هذا الأمر.
5. إشرح بإيجاز الإختلافات بين مشاكل جودة المياه.
6. أينبغي أن يحظر التخلص من النفايات برميها في المياه السطحية في كل أنحاء العالم؟ وماهي الإستثناءات التي سوف تسمح بها، إن

وجدت؟ إشرح كيف أن حظر رمي النفايات في المياه السطحية لوحده لن يوقف تلوث المياه السطحية.

7. ما أهم المصادر غير النقطية لتلوث المياه السطحية والمياه الجوفية في منطقتك؟
8. مستخدماً تعابيرك الخاصة، أكتب تعريفاً لكل المصطلحات المكتوبة بخط مائل في هذا الفصل. ثم قارن بين تعريفاتك وتلك الموجودة في ثبت المصطلحات.
9. كيف يرتبط تلوث المياه بالأنشطة الزراعية؟
10. ما هو التلوث الحراري؟

مواضيع أبحاث مقترحة ومشاريع

Suggested Research Topics and Projects

- إستكشف أربع مسارات مختلفة تسلكها المياه عندما تقع على سطح الأرض.
- تفحص الطرق التي غير بها البشر من الدورة المائية وتبعات ذلك.
- أجرِ بحثاً عن تاريخ تلوث المياه في أمريكا.
- تفحص الأبحاث الحالية التى تجرى في موضوع إستصلاح الماء وإعادة إستخدامه.
- أرسم خريطة توضح الكيفية التي تتحكم بها جودة الماء وتوفره في التوسع البشري.
- إشرح الأمر الذي تعتقد أنه سوف يحسن من إمدادات مياه الشرب الجوفية أو السطحية. دعم وجهة نظرك بالأدلة.
- تفحص المياه الجوفية بوصفها "المحيط الموجود تحت أقدامنا".

- تفحص مستقبل البيئة في ما يخص إمدادات المياه الحالية واستخدام المياه.
- أجرِ بحثاً عن الأسباب الذي تجعل المياه مبتلة.
- تفحص الأمراض المنقولة بواسطة المياه التي تشكل خطراً على صحة البشر.
- أجب عن الأسئلة الآتية: هل تشرب مياه الحنفيات في المنطقة التي تعيش فيها؟ هل تحس بأن هذه المياه آمنة؟ هل تستسيغ طعمها، ولونها، ورائحتها؟ هل يختلف مذاق الماء في منطقة أخرى عن مذاق الماء في منطقتك بالنسبة لك؟ ما هو رأي المجتمع من حولك في إمداد المياه؟
- تفحص الطريقة التي تؤثر بها درجة الحرارة على جودة المياه.
- طور تعريفاً موسعاً للآتي: الماء كمذيب عالمي.
- إستكشف المشاكل ذات الصلة بالماء تحت المشبع أو غير المتوازن.
- تفحص وجهات النظر –الموافقة والمعترضة–على إضافة الفلوريد.
- أجرِ بحثاً عن استخدام الفلوريد في الماء من أجل التحكم في تسوس الأسنان.
- إشرح كيف أن ماء البحر يحد بالنيتروجين، بينما تحد المياه العذبة بالفسفور.
- إشرح كيف يمكن لأعضاء المجتمع الحيوي المائي أن يعملوا كمؤشرات على جودة المياه.

المراجع المثبتة

Cited References

American Society for Testing and Materials (ASTM). *Manual of Water*. Philadelphia: ASTM, 1969.

Clary, D. "What Makes Water Wet." *Geraghty & Miller Newsletter* 39, no. 4 (1997).

Corbitt, R. A. *Standard Handbook of Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill, 1990.

Kemmer, F. N. *The Nalco Water Handbook*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1988.

———. *Water: The Universal Solvent*. 2nd ed. Oak Brook, Ill.: Nalco Chemical Company, 1979.

Koren, H. *Handbook of Environmental Health & Safety: Principles and Practices*. Chelsea, Mich.: Lewis Publishers, 1991.

Manahan, S. E. *Environmental Science and Technology*. Boca Raton: Fla.: Lewis Publishers, 1997.

Masters, G. M. *Introduction to Environmental Engineering and Science*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1991.

McGhee, T. J. *Water Supply and Sewerage*. New York: McGraw-Hill, 1991.

Moncrief, R. W. *The Chemical Senses*. 3rd ed. London: Leonard Hill, 1967.

Outwater, A. *Water: A Natural History*. New York: Basic, 1996.

Peavy, H. S., D. R. Rowe, and G. Tchobanoglous. *Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill, 1985.

Rowe, D. R., and I. M. Abdel-Magid. *Handbook of Wastewater Reclamation and Reuse*. Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers, 1995.

Spellman, F. R. *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations*. Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers, 2003.

———. *Microbiology for Water/Wastewater Operators*. Lancaster, Pa.: Technomic Publishing Company, 1997.

———. *The Science of Water: Concepts and Applications*. Lancaster, Pa.: Technomic Publishing Company, 1998.

Tchobanoglous, G., and E. D. Schroeder. *Water Quality*. Reading, Mass.: Addison Wesley, 1987.

"U. S Watersheds Have Water Quality Problems." *Environmental Technology*, (November/December 1997): 10.

Welch, E. G. *Ecological Effects of Waste Water*. Cambridge: Cambridge University Press, 1980.

قراءات مقترحة

Suggested References

Arbuckle, J., G. Randle, and R. V. Randle. *Clean Water Handbook*. Rockville, Md.: Government Institutes, 1990.

Conservation Foundation. *State of the Environment*. Washington, D.C.: Conservation Foundation, 1984.

Consumer Reports Books and R. Gabler. *Is Your Water Safe to Drink?* New York: Consumer Reports Books, 1987.

Eckenfelder, W. W. *Industrial Water Pollution Control*. New York: McGraw-Hill, 1966.

EPA. "Ambient Water Quality Criterion for Dissolved Oxygen." *Federal Register* 50, no. 76 (1985).

———. "Drinking Water in America: An Overview." *EPA Journal* (September 1986).

Horne, A. J., and C. R. Goldman. *Limnology*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1994.

LaMoreaux, P. E. *Environmental Hydrogeology*. Boca Raton, Fla.: CRC Press/Lewis Publishers, 1997.

McKinney, R. E. *Microbiology for Sanitary Engineers*. New York: McGraw-Hill, 1962.

Mitchell, R. *Environmental Microbiology*. New York: Wiley, 1992.

Randtke, S. J., and U. L. Snoeyink. "Evaluating GAC Adsorptive Capacity." *Journal of the American Water Works Association* 75 (1983): 406–13.

Rosenweig, W. D., H. Minnigh, and W. O. Pipes. "Fungi in Distribution Systems." *Journal of the American Water Works Association* 78 (1986): 53.

Salvato, J. A. *Environmental Engineering and Sanitation*. 3rd ed. New York: Wiley, 1982.

Singh, Vijay P. *Environmental Hydrology*. Norwell, Mass.: Kluwer Academic, 1995.

Spellman, F. R. *Stream Ecology and Self-Purification*. Lancaster, Pa.: Technomic Publishing Company, 1996.

Thomann, R. V., and J. A. Mueller. *Principles of Surface Water Quality Modeling and Control*. New York: Harper & Row, 1987.

U.S. Geological Survey. *Estimated Use of Water in the United States*. Washington, D.C.: Department of Interior, 1984.

U.S. Water Resource Council. *The Nation's Water Resources, 1975–2000*. Washington, D.C.: Government Printing Office, 1978.

الفصل السادس عشر

خصائص أجسام المياه العذبة

Characterstics of Freshwater Bodies

بداية الربيع، على مرج البي* شاهق، مغطى بالثلج وبالجليد، هما الزمان والمكان اللذان تتواصل فيهما الدوره المائية. ظل المكون الرئيسي لهذه الدورة، الماء، محجوزاً ومتجمداً، حرفياً، طيلة أشهر الشتاء المظلمة، الطويلة، لكن مع حلول أيام الربيع الدافئة، الطويلة، ترتفع الشمس إلى أعلى، وتكون أشعتها أكثر تركيزاً، ومدتها أكثر طولاً، وتتجاوب كل كتل الماء المتجمدة مع الدفء المتزايد. ثم يبدأ الذوبان بقطرة واحدة منفردة، ثم إثنتين، ثم أكثر فأكثر.

مع ذوبان الجليد والصقيع، تتلاقى القطرات مكونة جوقة تستمر بلا نهاية، لكي تتساقط من الحواف المغطاة بالثلوج إلى الصخور العارية والبقعة الترابية في الأسفل. المنطقة التي يقع عليها الثلج الذائب ليست كالطفل الجليدي، ذلك الخليط المفكك، غير المتجانس المكون من الطين والرمل، والحصى، والصخور الصغيرة، الذي تذروه، وتستخرجه، وتكشف عنه قوة المثلجة (glacier) المتحركة، الكبيرة، والبطيئة والعنيدة.

بدلاً من ذلك، إن التربة وفتات الصخور تكون معرضة للقطرات المتساقطة من ذوبان الثلج، بسبب اتحاد الريح والقوة الدقيقة المستمرة التي تبذلها قطرات الماء موسماً بعد آخر حينما تتصادم مع غطاء التربة الرقيق كاشفة بذلك عن عظام الأرض الحميمة.

*مرج البي: alpine: يعود إلى جبال الألب السويسرية (المترجم)

بالتدريج، تتزايد القطرات المنفردة مكونة إندفاعاً صغيراً؛ تتحد القطرات مكونةً شلالا صغيراً متناثراً، ومرتداً، ومتشتتاً، وعدة نهيرات منفصلة تتقطر قليلاً قليلاً، ثم تجري في طريقها إلى أسفل وجه الجبل الجرانيتي. عند حافة مسننة في منتصف الطريق إلى منحدر الجبل تتكون بركة صغيرة يزود جمالها وصفاؤها، وثلوجها الرائعة، الزائر بهدية لا تضاهى، عصية على الفهم، نعمة من الأرض.

تمتلئ البركة الصغيرة الجبلية على مهل، وتظل تنعم بالسكينة تحت السماء الزرقاء، عاكسةً منظر أشجار الصنوبر، والجليد، والسماء من حولها ومن فوقها، مقدمة بذلك دعوة مفتوحة للإستلقاء، والتأمل، ولإمعان النظر في المياه العميقة الصافية كالزجاج، التي هي من الصفاء بمكان، إلى درجة يبدومعها أنه من الممكن الوصول إلى عمق خمسين قدماً إلى أسفل، ولمس مركز الجبل ذاته. ليس للبركة الصغيرة أي فاصل بين الحافة الضحلة والعمق، إنها ببساطه عميقة ونقية. مع امتلاء البركة الصغيرة بمياه ذوب جليدي أكثر، نتمنى لو كان بمقدورنا أن نجمد الزمن، وأن يُترك هذا المكان وهذه البركة الصغيرة، على هذه الحال إلى الأبد. إلا أن هذا غير ممكن. إذ تنادي الطبيعة، حاثة ومستعجلة، ولبرهة وجيزة تسري المياه في النسيم، في الاتجاه المعاكس للحافة الأبعد للنتوء الجبلي، ثم تسيل متقطرةً من فوق الحافة.

تمتد يد الجاذبية العملاقة وتجعل الذوبان الفائض ينكفيء إلى الأمام، ويستمر مواصلاً رحلته إلى أسفل، متبعاً أثناء ذلك أقل الطرق مقاومةً، باتجاه محطته القادمة الواقعة على بعد عدة آلاف من الاقدام إلى أسفل.

حينما يتلاقى الفيضان، بعنف، مع الصخور المحطمة التي تأخذ شكلاً زاوياً، إلى أسفل، فإنه يرتد عنها، وينفجر، ويمضي ناثراً الرذاذ في طريقه، في الإتجاه المعاكس للجدران شديدة الانحدار، التي تأخذ شكل الحرف الإنجليزي V، والتي تكون وادياً صغيراً، نحتته المياه وقوى الأرض عبر الزمن، والذي ما زال على

لإرتفاع عالٍ، إلا أن قاعه المغطى بالصخور قد انحنى لأسفل، في اتجاه البحر.

في حدود الوادي، يتزايد ماء الذوبان من قطرات إلى نهيرات، ثم إلى كتلة صغيرة من الماء المنساب. وياله من انسياب، عبر فتحة ضيقة في البدء، ثم مكتسباً قوة وسرعة وطاقة، مع زيادة عرض الوادي ذي الشكل V لكي يصبح على الشكل U. لكن الرحلة مازالت مستمرة، مع اكتساب كتلة الماء للسرعة وسقوطها من على الصخور الضخمة، ثم إبطاؤها من جديد.

عند بركة أضخم، لكن أكثر ضحالة، التقت المياه الآتية من ارتفاعات أعلى بالجسم الرئيسي: من جوانب التلال، ومن الشقوق، ومن الينابيع، ومن الجداول الصغيرة، ومن الغدران الجبلية. عند جوانب البركة الجبلية الداخلة يبدو كلُّ شئ مسالماً وهادئاً ومسترخياً، لكن غير بعيد من ذلك، عند الطرف الخارج من البحيرة، تأخذ الجاذبية زمام التحكم مرة أخرى. حيث ينحني الفيضان عند الحافة المسننة، وينزل على شكل شلال صغير إلى أسفل مسافة عدة مئات من الأقدام، حيث يجلب حمله مرةً أخرى إلى لقاء عنيف مملوء بالرذاذ.

تنفصل المياه وتلتقي، مرة تلو الأخرى، مكونة جدولاً، عنيفاً، عميقاً، متوحشاً، يهدأ تدريجياً بينما يستمر في الإنسياب على الأراضي الأقل إنحداراً. وتتحول المياه إلى برك صغيرة أكثر عرضاً، محاطة بالنباتات وبالاشجار الطويلة. لقد أصبحت المياه النقية البلورية متغيرة اللون بالتدريج، في رحلتها إلى أسفل، مُصبَّغةً باللون البني بسبب حمض الدبال، ومملوءةً، بالرواسب العالقة. أضحى الجدول، الذي كان نقياً ذات مرة، طينياً الآن.

تتوزع الكتلة المائية وتنساب في اتجاهات مختلفة وعلى مناظر أرضية مختلفه. تنحرف الجداول الصغيرة عن مسارها، وتنساب باتجاه الريف المفتوح. تعمل

الترب المختلفة على حجز المياه أو تسريعها، وفي بعض المواضع، تنتشر المياه على مستنقعات ضحلة، وبحيرات سبخية، وأهوار، وأراضٍ منخفضة رطبة، وأطيان. تتمهل بعض الجداول الأخرى بما يكفي لكي تملأ المنخفضات العميقة في الأرض، مكونةً بحيرات. ولفترة من الزمن تبقى المياه وتبطيء في رحلتها إلى البحر. إلا أن هذه ماهي إلا استراحة قصيرة الأمد، لأن البحيرات ماهي إلا موضع استراحة قصيرة الأمد في دورة المياه. سوف تمضي المياه في نهاية المطاف قدماً عن طريق التبخر أو التسرب إلى المياه الجوفية، وياله من مضي.

بعض الاجزاء الأخرى من كتلة المياه تظل مع الإنسياب الرئيسي، الذي تتغير سرعته مكونة النهر الذي يجدل طريقه عبر المناظر الأرضية، متجهاً إلى البحر. مع تغير سرعة النهر، وإبطائه، يتغير قاعه من الصخور والحجارة، إلى الغرين والطين. كذلك تبدأ النباتات في النمو، ويزيد سمك سيقانها، وتعرض أوراقها. النهر الآن مليئ بالحياة، وبالمغذيات التي يحتاج اليها لاستدامة الحياة. إلا أن مسار النهر يتقدم إلى الأمام، إلى محطته الأخيرة، حيث تبطئ الكتلة المنسابة الغنية للمرة الأخيرة، وتنسكب في البحر.

أهداف الفصل

(Chapter objectives)

بعد نهاية هذا الفصل ينبغي أن تكون قادراً على أن:

- تَتَعرف على، وتُناقش النسبة المئوية من الإمداد الكلي، التي يوفرها كل مصدر رئيسي للمياه العذبة، وأن تُناقش إمكانية استخدام الامداد المائي.

- تعرف علم المياه العذبة، وأنظمة المياه الراكدة والجارية، وأن تُناقش مكوناتها.
- تَتَعرف على، وتُناقش أنواع البرك، وخصائصها، ومراحلها، ومساكنها، ومناطقها.
- تَتَعرف على، وتُناقش أنواع البحيرات، وتصنيفاتها، وخصائصها، ومراحلها، ومساكنها، ومناطقها.
- تُناقش تعاقب البحيرات، وكيف يؤثر التخثث عليه.
- تَتَعرف على البحيرات من حيث حالتها التخثثية.
- تَتَعرف على خصائص البحيرة بأنواعها الخاصة.
- تُناقش تطبق البحيرة الحراري، وتحولها من حيث العلاقة بين درجة الحرارة والكثافة. تَتَعرف على أثار التطبق والتحول على جودة المياه.
- تُناقش الميزات التي تمتلكها أنظمة المياه الجارية عند مقارنتها بأنظمة المياه الساكنة، من حيث جودة المياه والتنقية الذاتية.
- تصف المراحل العمرية للأنظمة النهرية، وصف التغيرات التي تحدث في قاع البحر، وفي العكورة.
- تصف مستويات الأوكسجين المذاب الشائعة في تنوعات الإنسياب النهري، وكيف تختلف عن الأوكسجين الذائب في أجسام المياه الساكنة.
- تصف الأنهار وعملية التبادل البيني بين اليابسة والماء، وكيف تعكس هذه الإمدادات الغذائية لقاطني الأنهار.

- تتعرف على منطقتين نهريتين ذواتي صلة بالتيارات والأحواض، ومناقشة كيف يدعم السكان المختلفون كائناتها الحية المتخصصة.

- تصف العوامل التي يمكن أن تقود منفردةً، أومع بعضها البعض الآخر، إلى الفيضانات، وتصف الأنشطة البشرية التي يمكن أن تؤثر على الجريان والتسرب.

- تقارن وتذكر الفروقات بين أجسام المياه الساكنة (المحاطة بالارض) وأجسام المياه الجارية. ووصف كيفية تأثر جودة المياه في كل نظام بالملوثات.

- تصف مقدرات ونظام التنقية الذاتية للأنهار، والعلاقة بين الأوكسجين المذاب (أ م)* والطلب الكيميائي الحيوي على الأوكسجين (ط ك أ)** والكائنات الحية النهرية.

- تتعرف على العمليات الطبيعية التي تعمل على التنقية الذاتية في أنظمة المياه الساكنة.

- تتعرف على وصف المناطق الموجودة في عمليات التنقية الذاتية.

- تصف السلسلة المترابطة في الاحداث الموروثة في تنقية الجداول، وتراكيز (DO) و(OCD) والكائنات الحية، وكيف تعمل هذه الكائنات على إزالة المادة العضوية من الجدول.

- تعرف المياه الجوفية، تناقش فائدتها من حيث توفرها، وإمكانية الوصول إليها، وصلاحيتها للإستخدام كمصدر لإمداد مياه الشرب.

***أم وأكسجين مذاب = (DO) Dissolved Oxygen**

****ط ك أ: الطلب الكيمياوي الحيوي على الأوكسجين (BOD) Biochemical Oxygen Demand**

- تناقش مزايا وعيوب المياه الجوفية كمصدر للإمداد المائي.
- تعرف مستوى المياه الجوفية ومكامن المياه الجوفية المحصورة وغير المحصورة، ماء فادوز، والمنطقة غير المشبعة وكيف تؤثر على انسياب المياه الجوفية.
- تتعرف على التدرج الهيدروليكي وتناقش المفهوم الذي يوجهه.
- تصف كيف تنظف المياه الجوفية عند التسرب.

خطة الفصل
(Chapter Ontline)

وصَف ومناقشة: المنظر عن بعد ووجود الماء على الارض، نسب توزع المياه المالحة والمياه العذبة.

تعريف: أقسام مصدر المياه العذبة المتوفره لمياه الشرب، المياه السطحية والمياه الجوفية.

تَعريف ومناقشة: خواص مهمة للمياه السطحية

تَعريف ومناقشة: أنظمة المياه الراكدة، دوراتها، خصائصها، والمسكن في البرك الانتقالية والبرك الدائمة.

تعريف ومناقشة: أنظمة المياه الراكدة، تصنيفاتها، دوراتها، مناطقها، خصائصها، والمساكن في البحيرات ومزاياها، وعيوبها ذات الصلة بالإمداد المائي، التطبق الحراري، والتحول.

تعريف ومناقشة: أنظمة المياه الجارية، تصنيفاتها، دوراتها، مناطقها، خصائصها، والمساكن في الأنهار، الفيضان، درجة الحرارة، ومستويات (DO)

ومحاسنها وعيوبها ذات الصلة بالإمداد المائي، المقدرات الموروثة على التنقية الذاتية في أنظمة المياه الجارية، مستويات (DO) و(BOD) وتأثيرهما على ملوثات النهر، والتعاقب الحيوي العام.

تعريف ومناقشة: إمدادات المياه الجوفية، إستخداماتها، ومصادرها، وأحوالها، مستوى المياه الجوفية، ومكامن المياه الجوفية المحصورة وغير المحصورة، وحركة المياه الجوفية.

المصطلحات الرئيسية (Key terms)

(benthic)	قاعي	(aquifer)	مكمن مياه جوفية
(clean zone)	منطقة نظيفة	biochemical oxygen demand (bod)	الطلب الكيميائي الحيوي على الأوكسجين (ط ك أ)
(do) (dissolved oxygen)	أوكسجين مذاب	(confined aquifer)	مكمن مياه جوفية محصور
(drainage basin)	حوض تجفيف	(cultural eutrophication)	تخثث مستحدث
(emergent vegetation)	نباتات ناشئة	(dystrophic)	سيئ التغذية
(epilimnion)	الطبقة العليا من البحيرة	(emergent)	الناشئات
(eutrophic)	متخثث	(euphotic)	ذو صلة بالطبقة العليا للبحيرة

(floating leaf vegetation)	نباتات ذات أوراق طافية	(eutrophic lake)	بحيرة متخثثة
(ground water)	المياه الجوفية	(general biological succession)	التعاقب الحيوي العام
(hypolimnion)	الطبقة السفلي من البحيرة	(hydraulic gradient)	التدرج الهيدروليكي
(lentic)	ذو علاقة بالمياه الراكدة	impoundment	محتجز
(limnetic)	ذو علاقة بالمياه العذبة		
(littoral)	ساحلي	(limnology)	علم المياه العذبة
(mature pond)	بحيرة ناضجة	(lotic)	ذو علاقة بالمياه الجارية
(mestrophic lake)	بحيرة وسطية التغذية	(meromictic)	ممتزج جزئياً
(neustons)	السطحيات	(nektons)	السابحات (صغار الأحياء السابحة)
(permanent pond)	بركة دائمة	(oligotrophic lake)	بحيرة شحيحة التغذية
(pond succession)	تعاقب البركة	(pond)	بركة
(profundal)	الطبقة المائية	(pool zone)	منطقة حوض

	المعتمة (العميقة)		
(recovery zone)	منطقة التعافي	(rapids zone)	منطقة التيارات السريعة
(run off)	جريان	(reservoir)	مستودع
(self-purification)	تنقية ذاتية	(saturated zone)	منطقة مشبعة
(septic zone)	منطقة نتنة	(senescent pond)	بركة مسنة
(stratification)	التطبق	(spring overturn)	التحول الربيعي
(summer stagnation)	الركود الصيفي	(submerged vegetation)	النباتات المغمورة
(thermocline aquifer)	مستوي المياه الجوفية	(surface water)	المياه السطحية
(unconfined)	ماء فادوز	(turnover)	تحول
(vadose water)	مكمن مياه جوفية غير محصور	(unsaturated zone)	منطقة غير مشبعه
(water table)	الميلان الحراري	(vernal ponds)	البرك الربيعية
(winter kill)	النفوق الشتوي	(watershed divide)	مقسم مستجمع المياه
(young pond)	بركة شابة	(winter stratification)	التطبق الشتوي
		(zone of recent pollution)	منطقة التلوث الحديث

مقدمة

Introduction

من مركبة فضائية تدور على ارتفاع 150 ميلاً فوق سطح الارض يمكننا أن نرى عالمنا بطريقة خبرها قلة قليلة من الناس، إذ يمكننا أن ننظر إلى الارض بإحساس ملؤه الوحدة والإكتمال، إحساس بالترابط المتبادل يصعب استيعابه من موضعنا المعتاد على الارض. أول ما قد يلفت نظرنا هو الكتل السحابية الدوارة، وأنساق المناخ الأرضي وهي تعبر فوق الكرة الارضية.

بعد ذلك سيجذب إنتباهنا اللون الازرق العميق، عبر الغطاء السحابي والسديم الرقيق، الذي تتخلله هنا وهناك كتل أرضية بنية، وخضراء، وسمراء تطفو جميعها على محيطات من اللون الأزرق.

هذا المنظر من فوق الأرض يثبت على مستوى بديهي ومرئي مايدركه قاطنوا الأرض على مستوى عقلي فقط، أن الارض مغطاة، حرفياً، بالماء. ومع ذلك فإن منظر الماء الكثير هذا يطرح نقطة أخرى لايتدبرها ولا يدركها ولا يفهمها كثير منا، وهي أن الماء لا يغطي الارض وحسب، شاغلاً 71% من كتلة السطح، بل إنه يتحكم، ويطغى، ويسود، إنه في كل مكان. نحن نحتل كتلاً أرضية ماهي إلا جزر محاطة بالماء.

مصدرنا الأكثر وفرة،الماء، يغطي ثلاثة أرباع سطح الارض، ومع ذلك فما هو إلا غشاء رقيق، يمثل الماء المالح نسبة 97% منه. هذه الغلالة المائية تؤدي عدة وظائف، فهي تساعد في الحفاظ على المناخ، وتعمل على تخفيف التلوث البيئي، وهي بالضرورة أساسية لاستمرار الحياة. من دون وجود المياه العذبة لن يكون هناك وجود للزراعة، والتصنيع، والنقل، وللحياة كما نعرفها.

من سفينتنا الفضائية عالياً في السماء فوق سطح الارض سوف نلاحظ أيضاً أن المياه، والمياه العذبة، ليست موزعة بانتظام. بعض المناطق فيها القليل جداً من الماء، والبعض الآخر فيه الكثير جداً منه. حاول بنو البشر، بدرجات متفاوته من النجاح، أن يعدلوا عدم الاتزان هذا عن طريق حجز المياه العذبة في مستودعات خلف السدود، وعن طريق نقل المياه العذبة في الأنهار والجداول من منطقة إلى أخرى، وعن طريق إستغلال إمدادات المياه الجوفية، وعن طريق السعي لتقليل استخدام المياه، وتقليل تبديد المياه وتلويثها. نجحنا في بعض هذه المجهودات ومازلنا نتعلم، في بعضها الآخر، ومازال لدينا الكثير لنتعلمه.

بؤرة تركيزنا على الماء في هذا الفصل هي خصائص "أجسام المياه العذبة". وكنا قد ذكرنا قبلاً أن معظم إمداد المياه على كوكب الارض هو ماء مالح، وأن جزءاً قليلاً فقط (أقل من 3%) هي نسبة المياه العذبة. ثلاثة أرباع المياه العذبة موجود في القمم الجليدية القطبية والمثالج، غير متاح للاستخدام البشري، وكل الربع المتبقي تقريباً (المياه الجوفية ground water) موجود تحت القشرة الارضية، في الصخر الحامل للماء، أو في تشكيلات رملية وترابية. توجد نسبة ضئيلة جداً (0.5 %) من كل المياه في كوكب الارض في البحيرات والأنهار والجداول أو في الجو. وكما هو واضح فإن هذه النسبة تبدو ضئيلةً بالنسبة للإمداد المائي العام على كوكب الارض. لكنها أكثر من كافية، رغم ضآلة مقدارها، إن حفظت خالية من التلوث ووزعت بانتظام، للشرب وإعداد الطعام وللإحتياجات الزراعية لكل سكان الارض. ببساطة، نحن في حاجة لأن نتعلم كيف نحسن من إدارتنا وحفاظنا على المياه العذبة المتوفرة بسهولة لنا.

يصنف الماء إما إلى ماء بحري أجاج (مالح) أو عذب، إعتماداً على محتواه الملحي. المحتوى الملحي للمياه البحرية ثابت تقريبا، ويبلغ حوالي 35 جزءاً من الالف (ج م أ)*. في المتوسط يبلغ محتوى المياه العذبة من الملح 0.5 جزءاً من الألف. يميل محتوى المياه العذبة من الملح أكثر للتغير عند مقارنته بالمحتوي الملحي للمياه البحريه، لأن البحيرات والأنهار والجداول يتحكم فيها من قبل الظروف البيئية المحلية، التي تشمل معدل التبخر، والمحتوى المعدني للتربة التي تجففها.

في الأقسام الآتية، نناقش المياه العذبة الموجودة في هيئتين أساسيتين: المياه السطحية (surface water) والمياه الجوفية. مياه الأمطار التي لاتتسرب إلى الارض، أو ترجع إلى الجو تعرف بالمياه السطحية وتصبح جرياناً (runoff)، المياه التي تنساب إلى البحيرات القريبة والأراضي الرطبة والجداول والأنهار والمستودعات.

تتسرب مياه الامطار تحت تأثير الجاذبية، وتتسرب وتتخلل المادة الأرضية المسامية ببطء، عميقاً داخل الأرض. تشبع هذه المياه طبقات القشرة الأرضية الحاملة للماء تماماً (مكامن المياه الجوفية acquifers) وتصبح في النهاية جزءاً من مخزونات المياه الجوفية. وعلى الرغم من التصنيف المختلف لهما، إلا أن المياه السطحية والجوفية لا يمكن تمييزها عن بعضها البعض بصورة تامة.

بعض المياه في البحيرات والجداول والأنهار قد تتخلل إلى أسفل في اتجاه إمدادات المياه الجوفية. كذلك تغذي الينابيع أجسام المياه السطحية راجعة إلى الدوره المائية. وفي مواسم الجفاف حينما يكون الجريان في أدني مستوياته، فإن

***جزء من ألف أو part of thousand (ppt).**

مصادر المياه الجوفية تساعد في الحفاظ على انسياب الأنهار والجداول، وتساعد أيضاً في الحفاظ على مستويات الماء في البحيرات.

قبل أن نواصل مناقشتنا لأجسام المياه السطحية والمياه الجوفية راجع المفاهيم الاساسية للدورة المائية (شكل 16-6).

في الواقع ترفع الدورة المائية،التي هي مظهر من مظاهر آلة حرارية عظيمة، الماء من المحيطات عند الارتفاعات الأكثر دفئاً، عن طريق عملية نقل هائلة للطاقة الشمسية. الماء الذي يتم نقله عبر الجو عن طريق الرياح، يتم ترسيبه بعيداً جداً على البحر أو اليابسة. يصور الشكل 16-6 التدوير الطبيعي المستمر للماء عبر الجو (إما عن طريق التبخر من سطح البحيرات، والأنهار، والجداول والمحيطات، أوعن طريق تعرق النباتات) حيث يشكل سحباً تتكثف لكي ترسب بخار الماء الذي يتجمع على اليابسة، أوعلى البحر في هيئة أمطار، أو جليد. ينساب الماء الذي يتجمع على اليابسة إلى المحيطات في شكل جداول أو أنهار.

الماء الذي نراه هو الماء السطحي،المياه السطحية. تعرف وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة الامريكية المياه السطحية بأنها كل المياه المفتوحة للجو، والمعرضة للجريان (1989).

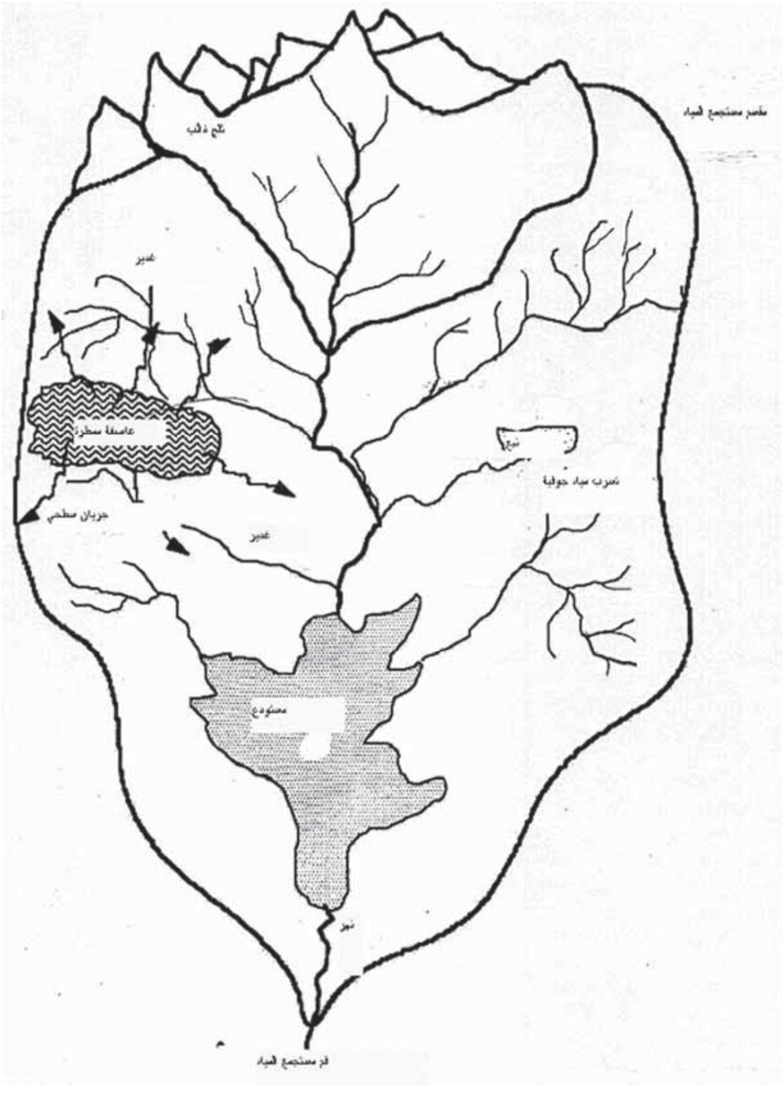
يمكن تقسيم المياه السطحية إلى خمسة مكونات: المحيطات، والبحيرات، والأنهار والجداول، ومصبات الأنهار والأراضي الرطبة. كل قسم من أقسام المياه السطحية مهم. الا أننا سوف نركز في القسم القادم على الماء المحتوى في أجسام المياه السطحية والمتاح للإستهلاك البشري.

المياه السطحية

(Surface water)

دراسة المياه السطحية أو أجسام المياه العذبة المفتوحة تعرف بعلم المياه العذبة (Limnology). وبصورة أخص، فإن علم المياه العذبة هو العلم الذي يدرس أجسام المياه العذبة المفتوحة (البحيرات، والأنهار والجداول) من حيث أحياؤها النباتية والحيوانية وخواصها الفيزيائية. يقسم علم المياه العذبة أنظمة المياه العذبة إلى مجموعات أو أصناف راكده وجارية. أنظمة المياه الراكدة أو الساكنة (lentic من الجذر اللاتيني lenis) الذي يعني هادئ وتمثلها البحيرات، والبرك، والمحتجزات، والمستودعات، والمستنقعات. أنظمة المياه الجارية (lotic من الجذر اللاتيني lotus بمعنى مغسول) تمثلها الأنهار، والجداول، والغدران، والينابيع. أحياناً لا يمكن التمييز بين هذين النظامين المختلفين، بصورة تامة. يمكننا أن نرى هذا في حالة الأنهار المسنة العريضة والعميقة، حيث تكون سرعة الماء منخفضة جداً ويكون النظام شبيهاً بنظام البركة.

تتبع المياه السطحية المنتجة من الثلج الذائب أو الجليد أو من العواصف الممطرة في رحلتها على المناظر الأرضية أقل المسارات مقاومة. تحمل سلسلة من القطرات، والجداول الصغيرة، والنهيرات، والغدران، والخلجان الصغيرة والجداول والأنهار، الماء من المناطق ذات السطح الارضي المرتفع، التي تنحدر إلى أسفل تجاه مجرى مائي رئيسي. منطقة التجفيف (drainage area) هذه تعرف بمستجمع المياه (watershed) أو بحوض التجفيف (drainagebasin) (إنظر الشكل 16-1).



شكل16-1 نموذج لمستجمع المياه

مستجمع المياه هو حوض يحيط به نتوء جبلي ذو إرتفاع عالٍ يسمى بمقسم مستجمع المياه (watershed divide)، ويفصل كل منطقة تجفيف عن الأخرى.

أنظمة المياه الساكنة (أو الراكدة):

Lentic (Standing or still) water systems

تتكون أنظمة المياه الراكدة من البحيرات، والبرك، والبحيرات السبخية، والأهوار، والمستنقعات. الأجسام المائية الراكدة الأخرى مثل المستودعات، وبرك الاكسدة، وأحواض الاستبقاء، عادة ما تكون من صنع الإنسان. في هذا القسم نركز على البحيرات (التي هي مصادر رئيسية للمياه العذبة) وعلى المستودعات (التي تستخدم لحفظ الماء العذب في مستودع)، بصورة أساسية، لأن هذين القسمين من المياه الراكدة مستخدمان على نطاق واسع كمصدرين لمياه الشرب. غير أنه ليس هناك على الارجح من طريقة أفضل أو أسهل لفهم أنظمة المياه الراكدة من دراسة البركة.

البرك: Ponds

التعريف البسيط للبركة (pond) أنها جسم مائي ساكن أصغر من البحيرة، وعادةً ما تتكون من تركيب إصطناعي. البركة قد تكون عتيقة (دائمة) أو انتقالية. البرك ذات الفترة الأقصر تعرف بالبرك الربيعية vernal ponds (نسبة إلى الربيع)، وبصورة عامة تغمر هذه البرك في أوائل الربيع، أو أواخر الشتاء بماء الذوب أو الامطار الغزيرة. مع بداية الصيف تبدأ هذه البرك في الإنكماش، وعادة ما تجف هذه البرك تماماً قبل نهاية الصيف. البرك ضحلة وتتأثر جودة مياهها بقوة بأنواع التربة التي تكون أحواضها. درجة حرارة مياه البركة ذات ارتباط وثيق بدرجة حرارة الهواء المحيط، وعادة ما تتبعها.

على الرغم من قصر فترة حياة البرك الانتقالية أوالبرك الربيعية إلا أنها تكون موجودة لفترة من الزمن تكفي لكي تدعم أشكال الحياه المائية البسيطة مثل قشريات (Branchiopod) (قريدس الحورية)، التي تفقس وتتجمع في هيئة

أسراب مياه بداية الفصل (الباردة). عادة ما تحتوي البرك على حويصلات، وأبواغ تنشأ منها الدولابيات، والبروتوزا، والديدان الخيطية، والطحالب. عادة ما تكون الضفادع الساكن التالي للحوض الذي يمثل خلفية مثالية للتزاوج ولوضع البعض، تفقس البيوض بسرعة وتنتج دعاميص سريعة التطور في زمن وجيز.

لا تستخدم البرك الربيعية أو الانتقالية لإمدادات المياه العذبة. ولأنها تفتقر إلى الدوام والثبات، فإنها لا تصلح أن تكون المصدر الدائم للمياه العذبة الذي يتطلبه نظام المياه المدينية. أيضاً تسبب طبيعتها الانتقالية مشاكل مائية. بسبب فترتها القصيرة، وتعرضها للتلوث من التربة، ومن الجريان؛ لا توفر هذه البرك مياهاً ذات جودة مناسبة للإستهلاك الآدمي.

يصعب التعميم بخصوص البرك الدائمة، لأن البرك غير دائمة. تذكر أنه بينما الماء في نفسه دائم (لدينا نفس المقدار من الماء الذي كان للإغريق والرومان الأوائل، نفس المقدار من الماء الذي كان على الارض منذ أن تكونت) إلا أن موضعه غير دائم، إذ إن الماء في حال تدوير متواصل. ليس في مقدورنا أن نعمم حتى على مايعرف بالبرك الدائمة، لأنه إذا تفحصت عشرات من هذه البرك، حتى ولو كانت على مقربة من بعضها البعض، في نفس الموضع الجغرافي، لوجدتها جميعاً مختلفة.

تعرف البركة الدائمة عادة بأي واحدة من الخصائص الاتية:

هي ضحلة بما يكفي لكي تسمح للنباتات المائية باختراق سطحها في أي موضع على امتداد كتلتها الكلية، وكتلتها ليست ضخمة بما يكفي لكي تسمح بتكوين أمواج ضخمة قادرةٍ على جرف الشاطئ، وليس لها تدرج طبقي (layering) من حيث درجات الحرارة، بدلاً عن ذلك لها تدرج لدرجات الحرارة يمتد من السطح إلى القاع (اموس 1969). عمر البركة وإنتاجيتها يمكن ايضاً

أن يميزا البركة. إذا لم يكن للبركة على سبيل المثال حياة بلانكتونية أو حياة نباتية ذات جذور، فإنه لن يكون بمقدروها أن تدعم الحياة الحيوانية. تكون مثل هذه البرك فقيرةً من ناحية المغذيات، شحيحة الغذاء (oligotrophic).عادةً ما تكون البرك شحيحة الغذاء بركاً صافية وجديدة إلى حد ما. البحيرة ذات الإنتاجية الغذائية المرتفعة، التي تحتوي على أعداد سكانية ضخمة من النباتات والحيوانات تكون غنية بالمغذيات، متخثثة (eutrophic). البرك المتخثثة يمكن أن تكون غير صحية، إذا حدث بها إثراء مفرط (عادة عن طريق الفسفور). تتفكك المغذيات عن طريق البكتيريا والعمليات الكيميائية التي تسخدم كميات ضخمة من الأوكسجين من الماء قاتلة بذلك الاحياء الهوائية ومسببة ركود البركة.

لأن للبرك عمراً (يتراوح عادة ما بين عدة عقود إلى قرن واحد أو إثنين) والذي هو مرحلة إنتقالية من طور لآخر، فإنه يمكن تصنيف البرك إعتماداً على أعمارها إلى شابة ناضجة ومسنة(قديمة). يمكن قياس عمر البرك، بدرجة معقولة من الدقة، إعتماداً على مظهرها الفيزيائي، وعلى أنواع الكائنات الحية المختلفة التي تقطنها خلال كل طور من أطوارعملية التحول. درست عملية التحول هذه، ووثقت بصورة جيدة، كما أنها تعرف بتعاقب البركة (pond succession).

ما أن يمتلئ منخفض أرضي بالماء، حتي تتكون بركة شابة (young pond). تتميز البرك الشابة بخلوها من الرواسب، تنتج البرك الشابة نباتات رائدة على امتداد خط الشاطئ، ويحتوي ماؤها على بلانكتون وكائنات لا فقارية وأسماك (إنظر الشكل 16-2أ ص 18). مع نمو النباتات واضمحلالها داخل البركة، ومع تراكم الرسوبيات من اليابسة تصبح البركة الشابة بركة ناضجة (mature pond) (إنظر الشكل2.16 ب ص 18). يغطي قاع البركة

الناضجة بالرسوبيات الغنية، وبها نباتات مائية تمتد إلى الخارج، إلى الماء المفتوح، وتحتوي على تنوع ضخم من البلانكتونات واللافقاريات والأسماك. مع استمرار البركة في الامتلاء بالرسوبيات، تتحول من ناضجة إلى مسنة (senescent) (إنظر الشكل 16-2 ج ص18). عند هذه النقطة توجد كميات ضخمة من الرسوبيات في المنخفض، إلى درجة أن قاعه يرتفع إلى مقربة من السطح. وتنمو النباتات وتغطي المنطقة بأكملها. كما هو واضح، فإنه وفي هذه البيئة لايكون بمقدور البركة أن تدعم الاسماك، أو البلانكتونات، أو حتى عدداً من اللافقاريات. هذه البركة تحولت من بيئة مائية إلى بيئة يابسة.

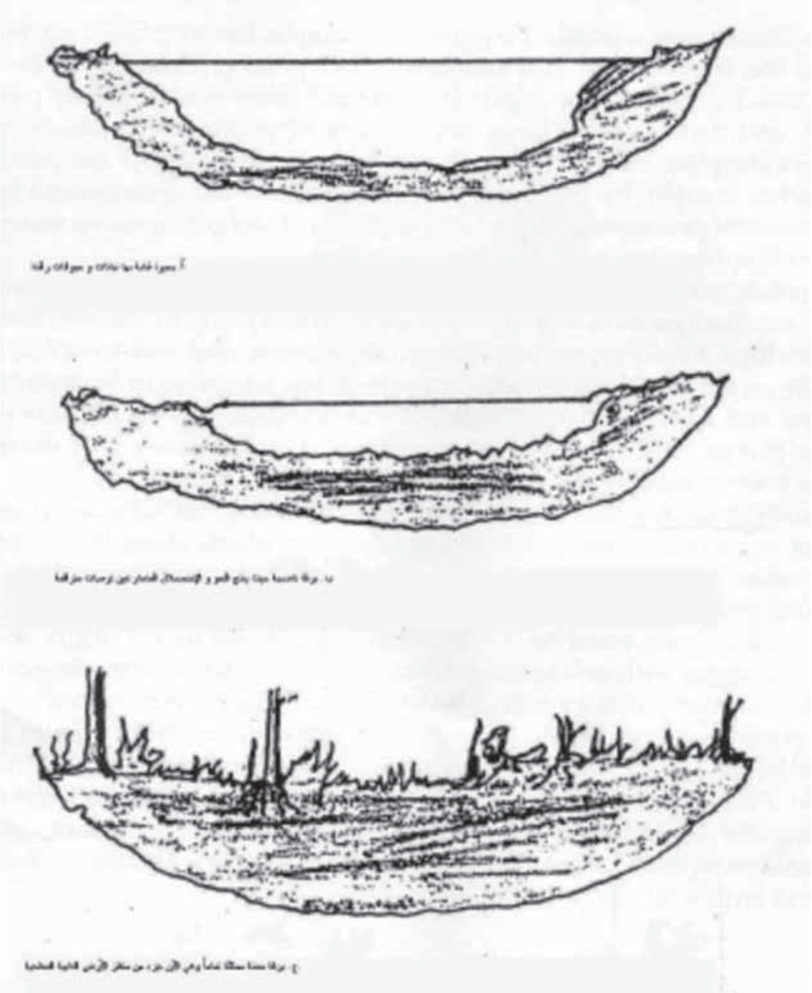
مسكن البركة Pond habitat

السواد الأعظم من الخصائص والأوضاع التي وصفت في حالة البرك، تنطبق أيضاً على البحيرات، التي سوف نناقشها بالتفصيل لاحقاً في هذا الفصل. تحتوي البرك على عدد من المساكن المختلفة جداً، تسكن كل واحدة منها بكائنات حيه متأقلمة بصورة خاصة. الكائنات الحية التي توجد سابحةً بحريّة تعرف بالسابحات (Nektons). والكائنات الحية الطافية التي تتحرك مع حركة الماء تدعى بالبلانكتونات أو الهائمات (Plankton). وتعرف الكائنات الحية النباتية، والحيوانية، التي تعيش في قاع البركة، أو بالقرب منها، بالكائنات الحية القاعية (Benthic). وتعرف النباتات والحيوانات التي تعيش على السطح بالسطحيات (Neustons). وكل واحدة من هذه المجموعات يمكن تقسيمها إلى مجموعات فرعية أصغر ويكون هذا عادة سبب التمنطق (zonation) الحيوي في البركة (اموس1969). تتكون البرك الضخمة عادةً من أربع مناطق مميزة: (ساحلية، وعذبة، وطبقة مائية معتمة، وقاعية) (إنظر الشكل 16-3 أ و16-3 ب). توفر كل منطقة مواضع بيئية مناسبة للأنواع المختلفة من الحياة النباتية والحيوانية.

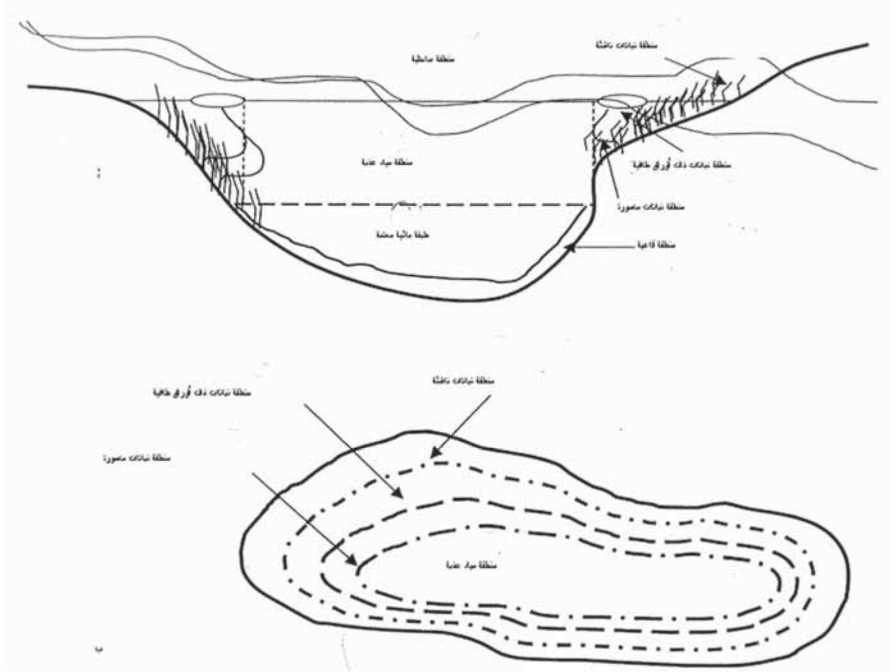
أكثر هذه المناطق وضوحاً (وأسهلها مراقبةً) هي المنطقة الموجودة على امتداد خط الشاطئ، المنطقة الساحلية (littoral zone). في المنطقة الساحلية (المنطقة الأبعد ذات المياه الضحلة) ينفذ الضوء إلى القاع (إنظر الشكل 3-16 أ). توفر هذه المنطقة منطقة سطح بيني، بين اليابسة ومياه البرك المفتوحه. تحتوي المنطقة الساحلية على نباتات متجذرة (أعشاب، نباتات السعدي، أسل، وزنابق الماء والاعشاب المائية) تتمو في الأراضي الرطبة المشبعة لضفة البركة، ومجموعة متنوعة، ضخمة من الكائنات الحية. تقسم المنطقة السطحية أيضاً إلى مناطق متحدة المركز، تحل فيها كل مجموعة محل الأخرى كلما تغير عمق الماء. يوضح الشكل 16-3 ب هذه المناطق المتحدة المركز: النباتات الناشئة (emergent vegetation)، والنباتات ذات الأوراق الطافية (floating leave vegetation)، ومناطق النباتات المغمورة (submerged vegetation zones)، عند الانتقال من المياه الضحلة إلى المياه الأعمق.

ترتفع النباتات الناشئة (emergents) عبر المياه الضحلة، قبل أن تنتج الخضرة والأزهار وتغزو بذلك البرك لمسافة ياردة أو أكثر من خط الشاطئ. وتبدأ النباتات الطافية من حيث تنتهي الناشئة. النباتات ذات الأوراق الطافية، والتي تضرب بجذورها القاع، لها سيقان طويلة مرنة ترسي أوراقها الطافية في مواضعها. وراء النباتات ذات الاوراق الطافية، توجد المياه المفتوحة لمنطقة المياه العذبة، وعلى كل حال إذا أعطيت هذه النباتات ذات الأوراق الطافية ما يكفي من الزمن، فإنها سوف تشق طريقها عبر سطح البركة وتغطيه تماماً. تعيش النباتات المغمورة أسفل سطح الماء من دون أن تخترقه تماماً، بحيث يمكن للضوء أن ينفذ ويصل إليها. إلا أنه إذا أصبحت البركة مغطاةً بنباتات

الاوراق الطافية (التي تمنع نفاذ الضوء) فإن النباتات المغمورة قد تكون غائبةً تماماً.



الشكل 16-2 دورة تعاقب البركة الطبيعية



الشكل 16-3 أ. قطاع عمودي لبركة يوضح المناطق الرئيسية، ب. منظر فوقي على المناطق متحدة المركز التي تكون المنطقة الساحلية.

يسمى الجزء المفتوح من ماء البرك، الذي يظل ضحلاً بما فيه الكفاية لكي يسمح بإختراق الضوء الفعال بمنطقة المياه العذبة. يتكون المجتمع الحيوي في هذه المنطقة من كائنات حية معلقة دقيقة، بلانكتونات أو هائمات، وبعض الحشرات، والأسماك. في هذا المجتمع تكون كثافة الانواع الموجودة منخفضة. ويكون معدل التمثيل الضوئي مساوياً لمعدل التنفس، وعندئذٍ تكون منطقة المياه العذبة في مستوى التعويض.

لا تحتوي البرك الضحلة الصغيرة على هذه المنطقة، بل تحتوي على المنطقة الساحلية وحسب. حينما تتم مناقشة كل المواضع المضاءة من المناطق الساحلية ومناطق المياه العذبة كوحدة واحدة فإن المصطلح "طبقة فوقية

مضاءة" يتم إستخدامه لكليهما، ويقصد به هذه المناطق التي فيها ضوء كاف لحدوث عملية التمثيل الضوئي ولنمو النباتات الخضراء (سبلمان 1996).

الجزء من البركة الذي لا يخترقه الضوء بالمنطقة المعتمة أو العميقة (profundal zone)، هذه المنطقة التي تحتوي على مياه أشد عتمة، فيها مستويات أوكسجين منخفضة، وتحتلها كائنات حية ذات تأقلم خاص.

المنطقة الأخيرة (**المنطقة القاعية**) هي قاع البركة. وتكون مدعمة بالزباليات والمفككات التي تعيش على الوحل. والمفككات هي، في الغالب، أعداد أكبر من البكتريا، والفطريات، والديدان التي تعيش على حطام النباتات والحيوانات الميتة، والنفايات الأخرى التي تجد طريقها إلى القاع.

البحيرات: Lakes

معظم المادة التي تمت تغطيتها في ما سبق بخصوص البركة، تنطبق أيضاً على البحيرات (lakes) خصوصاً على خطوطها الشاطئية، ومناطقها الضحلة. الا أن البحيرات كيانات متميزة ومنفصلة.

ويمكن وصف البحيرات على أنها مفاعلات إنسياب عشوائية ذات أزمان إستبقاء هيدروليكي طويلة. مامن مكان تكون فيه البحيرات مصدراً مهماً من مصادر المياه العذبة أكثر وضوحاً وأهمية من أمريكا الشمالية، حيث تتشارك الولايات المتحدة الامريكية وكندا البحيرات العظمى التي تعتبر أضخم إمداد للمياه العذبة في العالم. يوجد مصدر ضخم آخر للمياه العذبة المتوفرة في بحيرة بيكال في سيبريا التي تحتوي على نفس حجم المياه الموجودة في نظام البحيرات العظمى بكامله. تحتوي البحيرات العظمى وبحيرة بيكال سوية على 40% من المياه العذبة المتوفرة في العالم (نالكو1988). وتوجد نسبة 19%

من المياه العذبة الأخرى المتوفرة في العالم في عدة بحيرات على إمتداد الاراضي الكندية.

للبحيرات حساسية خاصة تجاه التلوث، أكثر بكثير مما عليه الحال بالنسبة للأنهار. فالأنهار، بمياهها المتحركة، لها المقدرة، ضمن الحدود، على التنقية الذاتية (سوف يتم شرح هذه العملية بالتفصيل لاحقاً). البحيرات أجسام مائية ساكنة وبإستثناء التطبق والتحول فإنها عموماً لا تنساب ولا تنقي ذاتها. والنفايات المتطلبة للأوكسجين، هي من أكثر ملوثات البحيرة إنتشاراً. بصورة عامة، الفسفور هو الملوث الذي يؤثر بشدة على الجودة الكلية للمياه في البحيرات (ديفيد وكورنويل 1991). الكائنات الحية الممرضة بمقدورها أيضاً أن تزدهر في البحيرات، وتتسبب في مشاكل صحية جدية للسابحين، وللآخرين الذين يشاركون في أنشطة البحيرة الترفيهية.

يجب عليك أن تمتلك معرفة أساسية بأنظمة البحيرات لكي يتسنى لك فهم دور الملوثات في تلوث البحيرة. هذا القسم هو، بصورة أساسية، دورة قصيرة في علم المياه العذبة،أو علم البحيرات في ما يخص علاقتها بالتلوث بالملوثات.

تصنيف البحيرات: Classification of lakes

يشير (أودم 1971) إلى ان البحيرات يمكن تصنيفها بثلاث طرق: بالتخثث، وبالانواع الخاصة من البحيرات، وبالمحتجزات. التخثث (eutrophication) هو عملية شيخوخة طبيعية تنتج من إعادة تدوير وتراكم المواد العضوية، على إمتداد فترات زمنية طويلة. مع إستمرار الرسوبيات في التراكم، يمتلئ قاع البحيرة إلى أن يتحول إلى بركة سبخة ويتحول في نهاية المطاف إلى نظام يابسة حيوي. في طورها الطبيعي، تكون عملية التخثث نتيجة لعملية التعاقب الطبيعي للبركة. هذه العملية تكون بطيئة في العادة وقد تستغرق في بعض

الاحيان مايقارب عشرات الآلاف من السنين لكي تكتمل. إلا أن تعاقب البحيرة عن طريق التخثث المسرع، يمكن أن يحدث عندما يلقي بكميات مهولة من المواد العضوية في البحيرة على امتداد فترات زمنية طويلة. هذه العملية المسرعة تدعى التخثث المستحدث (cultural eutrophication).

تصنيف البحيرات على اساس التخثث:

Classification based on eutrophication

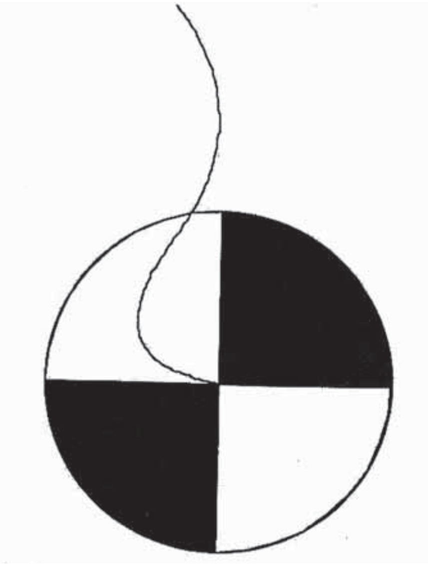
يمكن تصنيف البحيرات إلى ثلاثة أنواع إعتماداً على حالتها التخثثية :

1. **البحيرات الشحيحة الغذاء (غذاء قليل)** (oligotrophic lakes) هي بحيرات شابة، وعميقة، وشحيحة المغذيات، وماؤها نقي كالبلور، وعادة ما تكون مبهجة (من ناحية الجمالية) إلا أنها ذات إنتاجية ضئيلة من الكتلة الحيوية.و تكون جودة مياهها عادة أكثر مناسبةً لمدى واسع من الاستخدامات. بحيرة سيوبريور (Superior) هي بحيرة شحيحة الغذاء مثلها مثل بحيرة تاهوي (Tohoe). هاتان/البحيرتان سوف تتحوّلان في نهاية المطاف إلى بحيرة متخثثة. هذه العملية لا مفرمنها.

2. **البحيرات المتوسطة الغذاء (mesotrophic lakes):** عادة ما يستخدم مصطلح متوسطة الغذاء لكي يصف بحيرة تقع في مكان ما بين حالتين متطرفتين: شح الغذاء، والتخثث. تنمو البحيرات متوسطة الغذاء مع مرور الزمن. وتضاف المغذيات والرسوبيات عن طريق الجريان، وتصبح البحيرة أكثر انتاجية وحيوية. للبحيرات متوسطة الغذاء تنوع أكبر من الأحياء. في البداية يكون هناك مجموعات ضئيلة. إلا أن تحولاً يحدث نحو أعداد أعلى فأعلى لبعض الأحياء وأنواع أقل فأقل لبعضها الآخر. وتجعل الرسوبيات، والمواد الصلبة التي يسهم بها الجريان، والكائنات الحية، في البحيرة أكثر ضحالة.

وعند مرحلة متقدمة من مراحل البحيرات متوسطة الغذاء ربما تتكون روائح وألوان غير مرغوبة في مناطق معينة. وتتزايد العكورة وتتراكم الرواسب العضوية في القاع. وقد وصلت بحيرة أونتاريو إلى هذه المرحلة.

البحيرة المتخثثة (غذاءات جيدة) (eutrophic lake): فيها إمدادات ضخمة وفائضة بالمغذّيات. فمع تزايد دخول المغذيات إلى نظام البحيرة تنمو براعم طحلبية ضخمة، لا يبعث مرآها على السرور، وتتزايد أعداد الاسماك، وتتغير أنواعها من الانواع الحساسة إلى الانواع الأكثر تحملاً وتعايشاً مع التلوث، كما تصبح إنتاجية الكتلة الحيوية مرتفعة جداً. تكتسب البحيرة خصائص غير مرغوبة تشمل الروائح الكريهة، والعكوره المرتفعة جداً، واللون المسود. وهذا المستوى العالي من العكورة يمكن رؤيته في الدراسات التي أجريت على بحيرة واشنطون في سياتل، بولاية واشنطون. سجل لاوس (1993) أن قياسات قرص سكي (Secchi disk) للأعماق (وهو آلة تستخدم لقياس العكورة، موضحة في الشكل 16-4) التي أجريت في بحيرة واشنطون مابين 1950 إلى 1979، أوضحت إنخفاضاً في درجة صفاء الماء مقداره أربعة أضعاف ما كان عليه. وإضافة إلى زيادة العكورة، تصبح البحيرات المتخثثة ضحلةً جداً. وقد وصلت بحيرتا إيري وجرين (سياتل، ولاية واشنطون) إلى هذه المرحلة.



الشكل 16-4 قرص سكي (Secchi Disk)، يستخدم لقياس العكورة أو نقاء الماء. يدلي القرص الي أسفل الماء حتي لا يعود من الممكن رؤيته. يصبح عمق الإختفاء المرئي هو معامل إنخماد شفافية قرص سكي، تتراوح قيمة هذا المعامل من عدة سنتمترات في المياه شديدة العكورة الي 35 متر في البحيرة شديدة النقاء.

دراسة حالة 16-1
Case study
التخثث

تتكون التربة على الدوام، وتحمل الريح دقائقها إلى الشقوق والتصدعات الدقيقة، التي تساعد على دعم حياة النباتات التي تموت وتتحلل أنسجتها، مضيفة مادةً ثرية للتربة، ومحتجزةً دقائق أكثر تتراكم على إمتداد مئات والآف السنين، إلى أن ينتهي بها المطاف في موضع معين مدفونة تحت أقدام عدة من التراب. فكر في هذا: في كل عام يترسب أكثر من 100 طن من الغبار على كل ميل مربع من الارض. ويعمل الزمن كمسوي (Leveler)– مستخدماً

المواد المتاحة، ليملأ التجاويف، ويفتت الجبال في مجهود متواصل، غير واعٍ لجعل العالم مستوياً.

ويعمل الزمن أيضاً على أجسام المياه السطحية، إلاّ أن هذه التجاويف تمتلئ بطريقة مختلفة عن مثيلاتها على اليابسة. فتراكم المواد المتحللة من البيئة المائية، ومن التربة، والجسيمات الأخرى التي تحملها الرياح، تجعل البحيرة تشيخ تدريجياً وتملأها دقائق التربة ببطء. في أثناء هذه العملية تتغير الظروف البيئية، مشجعةً نمو مجموعة مختلفة من النباتات، ومغيرةً موئل ألكائنات الحية.

مع مرور الزمن تمتلئ أجسام المياه السطحية، وتصبح ضحلةً أكثر فأكثر. وتتحول البحيرات والبرك إلى أهوار، تختفي كليةً في نهاية المطاف. وتشيخ الأنهار والجداول أيضاً، فيتغير سرعة إنسيابها، ويتغير أيضاً الموئل وممرات المياه وكذلك طبيعة الأرض التي تمر عبرها.

تكون هذه العملية بصورة عامة تدريجية، وتحدث في الطبيعة ببطء شديد، إذا لم يكن هناك تدخل من قبل الإنسان. فالبشر يغيرون، بالطبع، دورة الحياة التخثثية الطبيعية للأجسام المائية وبعدد من الطرق. وتسرع المخصبات من هذه العملية، ويكون هذه التسريع كبيراً جداً أحياناً. كذلك يبني البشر السدود والخزانات والجدران الحاجزة للفيضانات والقنوات والجسور والقنوات والحواجز، التي يؤثر أي واحد منها، أو كلها على أوضاع الاجسام المائية المعينة. كذلك، يقوم البشر بالبناء وحرف المسار، والتجريف في محاولاتهم التحكم في المكان والزمان الذي تذهب اليه المياه، والسرعة التي تمضي بها، وفي أثناء ذلك يخلون بالدورات الفيزيائية، والحيوية، والبيئية للطبيعة.

غير أن الطبيعة لا تقف مكتوفة اليدين أثناء هذه العملية. ويذهب الماء إلى حيث تشاء الطبيعة، في نهاية المطاف. وخلاصة الأمر، أنه في التوازن الطبيعي لعالمنا، ليس هناك ما يفلت من يد الطبيعة، وعليه فإنه على الارض ما من شئ آمن تماماً من التغير الذي يحدث وسيظل يحدث.

الأنواع الخاصة من البحيرات: Special types of lakes

يشير أودم (1971) إلى عدة أنواع من البحيرات:

1. قليلة الغذاء (بحيرات سبخية) (dystrophic) لها أساس هيدروجيني منخفض، ويتراوح لون الماء من الاصفر الى البني. وتقل فيها الأملاح المذابة، والنتروجين، والفسفور، والكالسيوم، وترتفع فيها المواد الدبالية. تخلو هذه البحيرات أحياناً من الحياة السمكية، كما أن عدد الكائنات الحية الأخرى بها محدود. عندما تكون الأسماك موجودةً، يكون الانتاج شحيحاً (ولش 1983).

2. **البحيرات العميقة العتيقة (deep ancient lakes):** هي بحيرات متخصصة توجد فقط في بعض المواضع (الكائنات الحية المستوطنة)، على سبيل المثال، بحيرة بيكال في روسيا.

3. **بحيرات الصحراء الملحية (desert) salt lakes):** بيئات متخصصة مثل البحيرة الملحية العظمي في يوتا، حيث تفوق معدلات التبخر معدلات الأمطار، وينتج عن ذلك تراكم الأملاح.

4. **البحيرات البركانية (volcanic lakes):** تتكون على قمم الجبال البركانية، كما في اليابان والفلبين.

5. **البحيرات ذات التطبق الكيميائي (chemically stratified lakes):** تشمل بحيرات الصودا الكبيرة في نيفادا. هذه البحيرات متطبقة لأن المواد الكيميائية المختلفة المذابة قد غيرت من الامدادات المائية. تكون هذه البحيرات ممتزجة جزئياً (Meromimtic).

6. **البحيرات القطبية (polar lakes):** توجد في المناطق القطبية، ولها درجة حرارة مياه سطحية أقل من 4 درجات مئوية.

7. **البحيرات الطرفية (Terminal lakes):** هي بحيرات بها مصدر للماء الداخل، ولا يوجد بها مخرج، مكان إستراحة نهائي لإنسياب المياه. يكون المحتوي المعدني للبحيرات الطرفية ذو قيمة متطرفة، إلى درجة أن مياه البحيرة تعدن بحثاً عن محتواها من المعادن. بحيرة الملح الكبري في يوتا والبحر الميت في إسرائيل هما بحيرتان طرفيتان.

دراسة الحالة 16-2
Case Study
البحر الميت
The dead sea

البحر الميت، الذي هو بحيرة طرفية (بحيرة بلا منفذ)، تكون جزءاً من الحدود بين "إسرائيل" والأردن، يمر بإنكماش سريع. والمنتجعات التي شيدت في مطلع هذا القرن على شاطي البحر الميت، أصبحت الآن على بعد ميل واحد تقريبا، من حافة الماء. وفي واقع الأمر يتكون البحر الميت الآن من جسمين مائيين منفصلين.

لماذا يهمنا الامر ؟ فماء هذا البحر غير صالح للشرب. كما أن هذا "الميت" البحر بعيد جداً الآن عن الماء العذب، لدرجة أنه يسلك بالكاد سلوك الماء،

إبتداءاً من تأثيره على الجاذبية النوعية (لا يستطيع الجسم البشري،حرفياً، أن يغرق أو أن يسبح فيه بفعالية)، إلى رائحته، وقوامه الزيتي، وتكوينه الكيميائي والمعدني. إضافةً إلى إستخدامه كمنتجع، ومنطقة جذب للسياح، فإن البحر الميت هو في الواقع منجم سائل، وتستخدم المعادن المستخلصه منه لأنواع متعددة من الاغراض، من مستحضرات التجميل إلى الصناعة.

البحر الميت هو أكثر البحيرات الطبيعية ملوحة على وجه الارض، ويبلغ متوسط درجة ملوحته 370 غم من الملح لكل كيلوغرام من الماء. علماً أن متوسط درجة ملوحة المحيط هي 40 غم/كلغم ماء. الاملاح الرئيسية التي يحملها البحر الميت هي كلوريد المغنزيوم، وكلوريد الصوديوم، وكلوريد الكالسيوم، وكلوريد البوتاسيوم. وبروميد المغنزيوم. كذلك يعدن البحر للحصول على البوتاش، والبروم، والمواد الكيميائية الأخرى التي تباع في السوق العالمي. تستخرج صناعة مستحضرات التجميل الكبريت، وأكسيد الزنك، وكربونات المغنزيوم من طين البحر الميت، من أجل إستخدامها في منتجات معالجة البشرة. ولقد تعطلت خطط التنمية على طول البحر الميت، التي تهدف إلى الإستفادة من مصادر المنطقة لأغراض الصناعة، ولرواجها السياحي بسبب القضايا السياسية والبيئية المقلقة.

مع إنخفاض مستويات الماء بمعدل 0.5 متر في العام منذ العام 1960، زاد القلق على العلاقة بين مستويات مياه البحر الميت والمياه الجوفية، وعلى الأنواع القليلة، والفريدة التي تعيش في مصبات البحر الميت. يعد البحر الميت سلعة نفيسةً لكل من الاسرائليين والأردنيين، سواء من ناحية تعدين مياهه، ومن ناحية السياحة. وتشكل مستويات مياهه المتناقصة مبعث قلق لكلا الطرفين. إلا أن معظم مصادر المياه العذبة التي تغذي البحر الميت تدخل إليه من الجانب الإسرائيلي. كذلك يأتي النمو الأكثر ضخامة في أعداد السكان،

وبالتالي في إستخدام المياه العذبة، من الجانب الإسرائيلي. والمعروف أن أضخم مصدر للمياه العذبة التي تغذي البحر الميت هو نهر الأردن، الذي شكل منذ العام 1967 خطاً لوقف اطلاق النار بين الأراضي التي إحتلتها اسرائيل إلى الغرب، والأردن إلى الشرق.

النمو السريع للسكان في إسرائيل، والذي قاد إلى مستوطنات ممتدة، وإستخدامات زراعية متزايدة، ونمو صناعي أدّى إلى طلبات متزايدة على مصادر المياه العذبة في إسرائيل، وشمل ذلك بحر الجليل ونهر الأردن. وهكذا فإن مياه كثيرة جداً تسحب من هذه المصادر المحدودة، إلى درجة أن المخرج النهائي الذي يصل منها إلى حوض البحر الميت قد تم تقليصه بشدة. تضع التقديرات فقداناً في مستويات البحر الميت التي نبحث عن حرف مسار مياه نهر الاردن منذ ستينيات القرن العشرين، حوالي عشرين متراً، وهو المقدار الذي يساوي تقريباً نصف الإنخفاض الذي بلغ 40 متراً في الخمسين سنة الأخيرة (نقلاً عن صحيفة نيوزيلاندا هيرالد *Newzealand Herald* الصادرة يوم 7 سبتمبر 1998).

من ناحية أخرى لا تسقط سوى أمطار ضئيلة على وادي نهر الأردن، الشئ الذي يجعل الزراعة في هذا الوادي تعتمد كلياً على الري. وتُضَخ حوالي 311 مليار متر مكعب من مياه النهر سنوياً إلى وسط، وجنوبي إسرائيل. وتواجه كلاً من الاردن وإسرائيل نقصاً مائياً يتطلب إدارة آنية، ومستمرة للمياه. وتتنبأ التوقعات عجزاً يبلغ مقداره 5000 متراً مكعباً من الماء بحلول العام 2040 (وزارة الخارجية الإسرائيلية).

نقلت شبكة الاخبار البيئية في وكالة الأسيوشيتدبرس عن سلطة وادي الأردن، أنها قالت إن الأردن تود إعادة إحياء مشروع مع اسرائيل يؤدي إلى تعزيز مستويات نهر الأردن. وهنالك مشاكل تمويل تسترعي الاهتمام أيضاً في هذا

المشروع ذي التكلفة التي تبلغ ملياري دولار، والذي تعطل أثناء الصراع العربي الإسرائيلي. يشمل هذا المشروع بناء قناة، أو خط انابيب على إمتداد الحدود الأردنية الاسرائيلية من البحر الأحمر، وحتي البحر الميت، ويجلب الماء المالح من خليج العقبة. ويشمل المشروع أيضاً عمليات تحلية مياه البحر لتعزيز نهر الأردن بالمياه العذبة.

المراجع References

Associated Press/Environmental News Network: www.enn.com/news/wire-stories/2002/07/07232002/s_47922.asp [July 23, 2002].

"Dead Sea Faces Death by Tourism." *New Zealand Herald*, September 7, 1998.

Israel Ministry of Foreign Affairs. *Jordan Rift Valley: Water*: Israel.org/peace/projects/jrv2.html

UN Wire: www.irc.nl/content/view/full/2122 [July 23, 2002].

تصنيف البحيرات إعتماداً على المحتجزات : (Classification by impoundments (shut-ins)

المحتجزات (impoundments) هي بحيرات إصطناعية أقامها الإنسان عن طريق حبس الماء من الأنهار، ومن مستجمعات المياه. تختلف هذه البنى إعتماداً على منطقة التجفيف، وعلى طبيعتها. وأن كان بها عكورة عالية ومستوى مائي متذبذب. إن الإنتاجية الحيوية، وخصوصاً للقاعيات (الكائنات الحية التي تقطن في القاع) تكون بصورة عامة، أقل من مثيلاتها في البحيرات الطبيعية. وتشمل المحتجزات، أيضاً، الحفر المغلقة التي صنعها الإنسان، والحواجز الارضية التي تُملأ إصطناعياً لكي تكون بحيرات إصطناعية، ومستودعات، أو أحواض حجز. بعض هذه البنى قد تتم تغذيتها عن طريق الينابيع، وكلها معرضة للتسرب والانحسار.

المستودع (reservoir) هو نوع خاص من المحتجزات. وتكون المستودعات التي تستخدم لتخزين الماء الخام، بصورة عامة، بحيرات، أو بركاً، أو أحواضاً تكونت بصورة طبيعية، أو تم تشييدها من قبل الإنسان. يُستخدَم المصطلح "مستودع" أيضاً، للتخزين تحت الارض وفوقها وللأحواض في المستوي الأرضي التي تستخدم لتخزين المياه التي تجري معالجتها، أو المعالجة فعلاً.

بعض المستودعات المائية (كلا الأنواع المائية، الخام والمعالجة) تكون ضخمة وعميقة بما فيه الكفاية لأن تبدي عدداً من خصائص أنظمة البحيرات الطبيعية، وعلى وجه الخصوص خصائص التطبق* والتحول التي تحدث فقط في الاجسام المائية من نوع البحيرة.

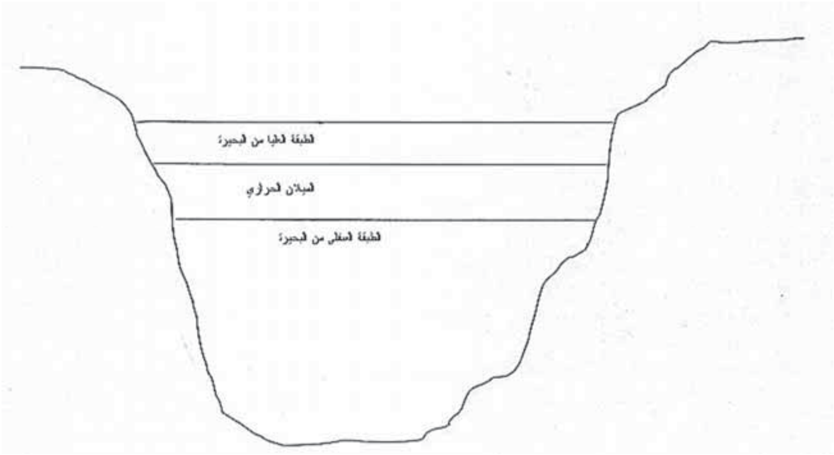
التطبق الحراري وتحول البحيرة: Lake thermal stratification and turnover

العلاقة ما بين درجة الحرارة وكثافة الماء علاقة فريده، ومهمة بصورة خاصة في حالة البحيرات (فقط تلك الموجودة في بعض المناطق الاستوائية، والمناطق فريده الحرارة المعتدلة فقط، بسبب عمقها وزمن الإستبقاء الطويل). إنّ العلاقة ما بين درجة وحرارة وكثافة الماء في البحيرات ذات درجة الحرارة المعتدلة (التي يزيد عمقها على 25 قدم) تقود إلى التطبق الحراري للبحيرة، وتحولها المترتب علي أساس هذا التطبق.

فأقصى كثافة للماء تكون عند درجة الحرارة 4 مئوية (39.2 فهرنهايت)، في الربيع، وقد يحتفظ ماء البحيرة بذات درجة الحرارة المعتدلة، وعلى امتداد عمقها.

---

*التطبق: Stratification: وهو تركيب توضعي لصخور أو طبقات من الأرض أو المياه بعضها فوق بعض. وتعني هنا التدرج الحراري أو في الكثافة ضمن طبقات المياه من القصر إلى السطح أو بالعكس.



الشكل 16-5 التطبق الحراري لبحيرة ذات درجة حرارة معتدلة

إن إحدى أهم نتائج خصائص الكثافة هذه (التي يتميز بها المائع المائي كسائل فقط) أن الثلج يطفو لأن الماء المحيط به يكون أكثر منه دفئاً وكثافة. وهذه الحقيقة الطبيعية تكون في صالح الكائنات الحية التي تعيش في البحيرة، لأنه لو كان الوضع غير ذلك، لتجمدت البيئة المائية وتجمدت معها هذه الكائنات الحية.

خلال فصل الصيف تسخن الطبقة العليا من البحيرة (epilmnion) (إنظر الشكل 16-5) بينما تحافظ الطبقة السفلى من البحيرة (hypolimnion) (الأجزاء العميقة) على درجة الحرارة عند 4 درجات مئوية. وتسخن الطبقة العليا من البحيرة عادة بطريقة مباشرة، عن طريق أشعة الشمس، وبطريقة غير مباشرة بالتماس مع الهواء الساخن لتكوّن شريطاً ضيقاً من الماء الدافيء. وحينما يكون الماء دافئاً تقل كثافته عن كثافة الماء البارد، ولذلك يميل للبقاء بالقرب من السطح، حتى يتم خلطه إلى أسفل عن طريق التحريك. يطفو الماء الدافئ للطبقة العليا من البحيرة على الطبقة السفلى، الأبرد، من مائها. وتفصل بين هاتين الطبقتين طبقة أفقية رفيعة يحدث بها تغير حراري مفاجئ يُدعى

الميلان الحراري(thermocline) . وبإمكانك الشعور بهذا "الميلان الحراري" عند سباحتك في بحيرة ذات درجة حرارة معتدلة. فعندما تسبح أفقياً على السطح، يكون الماء دافئاً. لكن حاول تحسس الماء حينما يكون جسمك عمودياً، عندها، ستشعر بالطبقات الأبرد أسفلك.

في الصيف، تتواجد معظم الهائمات (Planktons)، والسابحات (nekton) في الطبقة العليا للبحيرة، حيث يوجد قدر كافٍ من الأوكسجين المذاب بدلاً عن الطبقة التي تلي الميلان الحراري (الطبقة السفلي للبحيرة)، حيث يكون الأوكسجين الموجود بها منخفضاً جداً. وهنالك فروقات في اللزوجة في كل واحدة من هذه الطبقات. لأن درجة لزوجة الماء تتغير بين طبقة وأخرى. فالطبقة العليا للبحيرة، التي تكون موجودةً فوق الماء الأبرد، يتم تلطيفها وتقليبها بفعل الرياح (تدوير المياه المستحث بفعل الرياح)، بينما تكون الطبقة السفلى هادئة، ومنعدمة الحياه تقريباً. وتظل هذه الاوضاع مستقرة، أو يزيد إستقرارها في الواقع مع إزدياد درجات الحرارة في الطبقة العليا من البحيرة أثناء فصل الصيف، بينما تظل الطبقة السفلى من البحيرة عند درجة حرارة ثابته إلى حد كبير. ويؤدي هذا الامر إلى تأثير تطبق ثابت يعرف بالتطبق الحراري (thermal stratification). وحينما يحصل التطبق الحراري في بحيرة ما فإن هذا يسبب التحول (turnover).

خلال الصيف، يحدث التطبق لأن الطبقة العليا، والتي تكون أكثر دفئاً من الطبقة السفلي، ينتج عنها طبقات ذات كثافة مختلفة، تكون العليا منها خفيفة، بينما تكون السفلى ثقيلة. ومع الإرتفاع المتزايد لدرجة الحرارة، تزداد الطبقة العليا خفة، ويتكون ميلان حراري (ذو كثافة متوسطة). من الأعلى للأسفل. فلدينا الطبقة الأخف والأكثر دفئاً تقع في القمة، والمتوسطة الدافئة نسبياً في الوسط، والأثقل والأبرد في الأسفل ويحصل ذلك مع هبوط حاد في درجة

الحرارة عند الميلان الحراري. وعادة لا يدور الماء بين هذه الطبقات الثلاث. فإذا كان الميلان الحراري أقل من مدى نفاذ الضوء الفعال، كما هو الوضع عادةً، فإن إمداد الأوكسجين ينضب في الطبقة السفلى من البحيرة، لأن كلاً من عملية التمثيل الضوئي ومصدر الأوكسجين السطحي قد تم قطعهما. تعرف هذه الحالة بالركود الصيفي (Summer Stagnation).

وفي الخريف، مع إنخفاض درجة حرارة الهواء، تنخفض درجة حرارة الطبقة العليا من البحيرة. ويبدأ التطبق، الذي حدث في فصل الصيف، بالإختفاء، حتى تكون درجة حرارة الطبقة العليا هي نفسها درجة حرارة الميلان الحراري. وعند هذه النقطة تختلط الطبقتان. أصبحت الآن درجة حرارة البحيرة كلها متساويةً، مع المزج الكامل. ومع وصول درجة حرارة ماء السطح إلى 4 درجات مئوية، يصبح هذا الماء أكثر كثافة من الماء أسفله، الذي لايكون في تماس مباشر مع الهواء، ولا يبرد بنفس السرعة عند المستويات السفلى. عندئذٍ تحرك الطبقة السطحية، الأكثر كثافة، الغنية ب الأوكسجين المادة العضوية مع إنخفاض المياه مسببة التحول، ويعرف هذا بالتحول الخريفي (fall turnover).

عبر الشتاء تكون الطبقة العليا من البحيرة، المغطاة بالثلوج، عند أدني درجة حرارة، وتكون بذلك أكثر الطبقات خفة، ويكون الميلان الحراري عند درجة حرارة متوسطة ووزن متوسط، بينما تكون الطبقة السفلى عند درجة حرارة 4 درجات مئوية تقريباً وتكون هي الطبقة الأثقل. وهذا هو التطبق الشتوي (winter stratification). في الشتاء، لايكون إمداد الأوكسجين مخففاً بصورة كبيرة، إذ إن ارتفاع ذوبان الأوكسجين عند درجة الحرارة المنخفضة، والتفكيك البكتيري (مع الانشطة الحياتية الأخرى) تحدث جميعها بمعدل منخفض. وحينما يتراكم ثلج كثير جداً مع جليد كثيف، يقل نفاذ الضوء. ويقلل

هذا من معدل التمثيل الضوئي، الذي يسبب بدوره نضوب الأوكسجين في الطبقة السفلى للبحيرة، الشئ الذي ينتج عنه نفوق الاسماك الشتوي.

مع إرتفاع درجة حرارة الهواء المحيط في الربيع، يذوب الثلج في الطبقة العليا من البحيرة، وتختلط الطبقات العلوية. ومع وصول الطبقة العليا للبحيرة إلى درجة حرارة 4 درجات مئوية، تغوص إلى أسفل محدثة التحول الربيعي(spring overturn). يصف أودم ظاهرة التحول الربيعي هذه بأنها تبدو وكأن البحيرة تأخذ "نفساً عميقاً" (1971).

إن تحول البحيرة مهم لجودة المياه بطريقتين: يحدث تحول البحيرة تغيرات في توزع المغذيات وفي درجة الحرارة، كما يحدث حركة للرسوبيات القاعية من خلال الحجم. وعادة تتراكم المواد المغذية في الأعماق السفلى، إما كرسوبيات أو لأن النشاط الحيوي يحدث بدرجة أقل. وحينما يحدث التحول، تجلب هذه الرسوبيات إلى السطح، وتكون معرضة لضوء الشمس، ولدرجات حرارة أعلى، كما تتزايد تراكيز الأوكسجين ومعدلات التخثث (تكوبانوغولوس وشرويدر 1987).

أنظمة المياه الجارية (المنسابة): Lotic (flowing) water systems

في الفصل الخامس عشر، قارنا ما بين جهاز الدوران البشري، ونظام التدوير الارضي للمياه، مشيرين إلى أن الماء (مثله مثل الدم) يضخ عن طرق الدورة الهيدروليكة، ويتم تدويره بإستمرار عبر الهواء، والأجسام المائية، والأوعية المختلفة. مثلها مثل الاوعية في النظام الدوري البشري. وتكون الاوعية المائية (الأنهار) أساسيةً للنظام الارضي الدوري. وتغذي الغدران الشعرية، والجداول الصغيرة، والجداول، والنهيرات أنهار الارض كما تفعل الشرايين. نناقش في هذا القسم كيفية عمل هذا الجزء من نظام الأرض الدوري مع النظام المكتمل- أي

كيف تحمل الأنهار والجداول (التي نستخدمها لأغراض هذا الكتاب أسمين لشئ واحد) عبر الجزء الأرضي من الدورة المائية.

الأنهار: Rivers

ماهو النهر بالتحديد؟ هنالك خصائص قياسية ستساعدك على التعريف المحدد للعناصر، والمؤشرات التي تفسر الانسيابات الضخمة للمياه المتحركة، والانسيابات المجدولة من المياه المتحركة، والتيارات السريعة للمياه البيضاء، وتكوين الموجات، ومنطقة الأحواض النهرية، والمناطق الضفافية –وهذه التوصيفات اجمالاً أشياء زلقة، ولاسيما لشيء أساسي، كالنهر، فإنها لا تكون مرضية. لكن معظم الناس لا يواجهون صعوبة في التعرف على النهر عندما يرونه، على الرغم من أن الأنهار يمكن وصفها بطرق عديدة ومختلفة. ربما سيساعد هذا التعريف من قبل واطسون على إيضاح درجة وعمق صعوبة التعريف هذه.

النهر، تقريباً بكل التعريفات، هو جسم من المياه المتحركة، ضخم بما يكفي يشغل بالنا. وشيء يفوح بروائح أصول بعيدة وأسطورية، مليئ بأخبار المصادر التي يستمد منها قوته. الأنهار، كنايات للتغير، أحلام بالتاريخ. تتحرك الأنهار إزاءنا مشبكة خيوط الزمن، وجادلة مياهها في أخلاط اللحظة، أنظمة مفتوحة تلمح بمآل واحد – حاجة غامرة ومحددة سلفاً للبحر.

على نفس المنحدر، تسري الأنهار الضخمة بصورة أسرع من الأنهار الأصغر، لقلة إحتكاكها مع الضفاف ومع القيعان. ولأن حتي الهواء له تأثير كابح، سرعة إنسياب أي نهر تكون أعظم ما تكون عند نقطة ما بين عشر وأربعة اعشار عمقه تحت السطح. إضافة إلى ذلك، فإن أي إنحناء، أو إنزياح في مساره، وكل حافة في الاسفل تنتج تدويرات وتجلب مياه القاع الى السطح، الشئ الذي ينتج إضطراب عشوائي. والنتيجة، بيئة لا شيء محتم فيها غير التغير. مكان للفرص (1988, 6-104).

لأغراض هذا الكتاب، سنبسط العملية بتعريف النهر بأنه جسم طبيعي، ضخم من الماء، تحتٍّ وتجرف حركته أسطح اليابسة، وتنقل، وترسب المواد على إمتداد مساره، ويصب النهر في النهاية في محيط، أو بحيرة، أو أي جسم مائي آخر، ويغذي النهر عادة، على إمتداد مساره، بروافد متلاقية (تبدو وكأنها تفرعات شجرة) وترى أوضح ما يمكن في تحليل شبكي لنموذج نظام نهري. في العام 1930، إشتق روبورت إ.هورتون، المهندس المشهور، نموذج تحليل شبكي من هذا النوع. (إنظر الشكل 16-6).

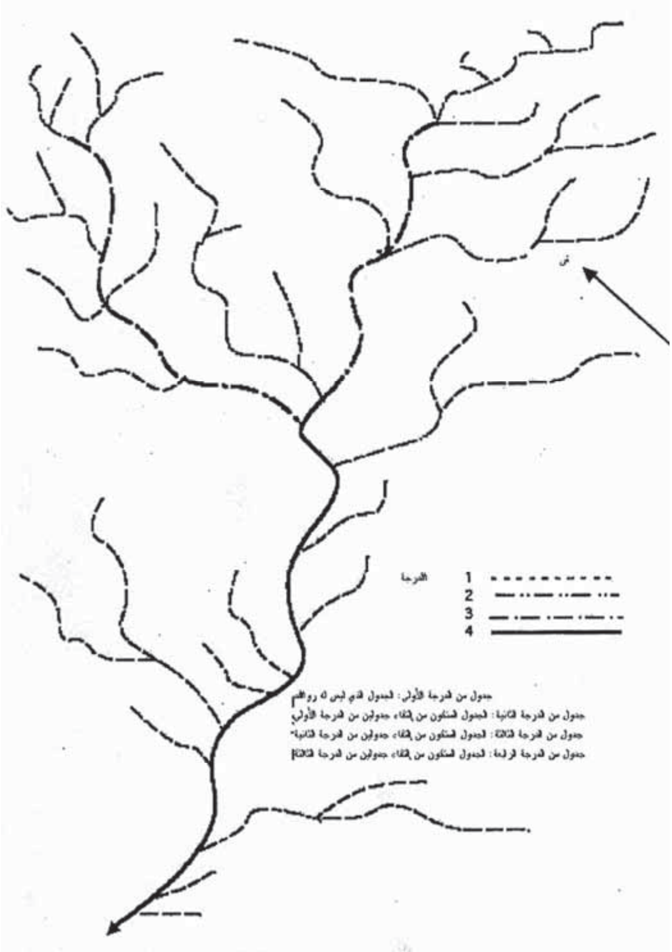
تغذى الأنهار من مياه الامطار التي لا تتسرب إلى جوف الارض أو تتبخر. وتمر الأنهار، مثلها مثل البحيرات، بعدة مراحل. ويمكن تقسيم عمرها إلى أربع مراحل.

1. تأسيس نهر (establishment of the ariver): النهر الذي يبدأ كمنفذ لبحيرات أو برك، ناشئاً من مناطق تسرب، أو ينابيع، أو من جريان في مستجمع مياه، قد يكون النهر قناة جافة أو منبع نهر سابق قبل أن يتجرف (eroded) إلى مستوى المياه الجوفية.

2. الأنهار الشابة (young rivers): يصبح النهر الشاب نهراً دائماً حينما يتجرف قاعه إلى ما دون مستوى المياه الجوفية، ويبدأ في إستقبال الجريان وماء الربيع.

3. الأنهار الناضجة (mature rivers): يصل النهر إلى درجة النضج حين يصبح أعرض، وأعمق، وأكثر عكورة. وعندما تبدأ سرعته في الابطاء وترتفع درجة حرارته. ويشكل قاعه الرمل، والغرين، والطين، والطفل.

4. الأنهار المسنة (old rivers): الأنهار القديمة التي وصلت إلى مستوى قاعها الجيولوجي. وقد يكون سهل فيضانها (flood plain)* عريضاً جداً ومسطحاً. ويعاد خلال فترات انسيابها العادية، ملء القنوات التي تحتويها.



الشكل 16-6 نظام شبكة قنوات إفتراضي. تلاقي الجداول الصغيرة لكي تكون (جداولاً) أكبر، والأنساق المتتابعة شديدة الإنتظام التي تتبعها أثناء هذه العملية. مع إلتقاء الروافد بالتيار الرئيسي يتزايد تفريغ وعرض وعمق القناة الرئيسية.

*سهل الفيضان: flood plain: منطقة جريان مائي حول ضفاف الأنهار.

تذكر أن الماء الراجع يؤثر على الأنهار، تؤثر المقادير المختلفة من الماء الراجع على معدل وحجم الانسياب، وأن الماء الراجع يعتمد بشكل جزئي على حالة تربة مستجمع المياه. تصمم قنوات الأنهار، لكي تتعامل مع إنسياب النهر العادي، وعلي عكس الاعتقاد الشائع فإنها ليست مصممة لكي تتعامل مع الانسياب عبر كل الظروف، والاحداث الجوية، مثل الفيضان (إنظر دراسة الحالة 16-3).

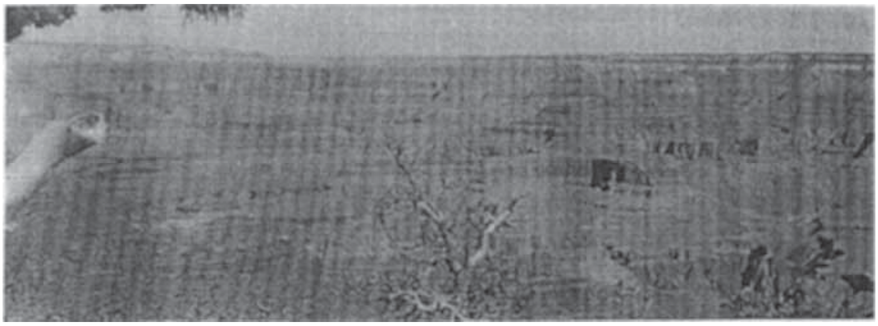
دراسة الحالة 16-3
(Case study)
لماذا تفيض الأنهار
(Why do river flood)

إذا أردنا أن نسأل هذا السؤال اليوم (عام 2004)، فإن الاجابة التي سوف نتلقاها، تكون على الارجح ذات صلة ما بالنينو El Nino" والنينو هو سبب الفيضان، وهو على الارجح السبب في كل هذه الظواهر المناخية الغريبة، بما في ذلك هذا الفيضان الذي يحدث الآن."

لكن هل النينو مسؤول عن كل الفيضانات التي حدثت في الولايات المتحدة الامريكية في العام 1973، وفي العام 1993، حينما سجلت محطات القياس على نهر الميسسبي، عند مدينة سانت لويس، بولاية ميزوري، قراءات بلغت 43 قدماً، و49 قدماً على الترتيب فوق مستوى الفيضان؟ إذا وجهت هذا السؤال لعالم يدرس الفيضانات المرتبطة بالظواهر المناخية، فإنه قد يجيب "ربما". وإذا وجهت نفس السؤال إلى عالم ذي معرفة بالمناخ (علم المناخ)، والجيولوجيا، والجيوفيزياء، والذي هو في الوقت ذاته خبير في الفياضانات لربما أجاب بـ" هذا ممكن".

في الوقت الحالي، ما من أحد على يقين قاطع بالتأثير الدقيق للنينو أوللظاهرة المرتبطة به (إلا أنها معروفة بصورة أقل) بالتذبذب الجنوبي (يعرفإن سوية بالإنسو-ENSO-) على أنساق المناخ العالمية. وببساطة لم يتم إصدار الحكم النهائي بعد على طبيعة ظاهرة الإنسو. إلا أن لدينا أدلة وشواهد تاريخية كافية لكي نعبر بدقة عن السبب وراء فيضان معظم الأنهار على أحواضها.

الشكل 16-7 أ. نهر كلارادو يجدل طريقه عبر جزء من الجراند كانيون. الصورة لجون جويك



الشكل 16-7 ب. جراند كانيون

والآن، نعرف على وجه اليقين، بناءاً على الملاحظات والقياسات الحقيقية، أن كل أنظمة الأنهار تمر بصورة طبيعية بمرحلة تفريغ (discharge) عالي عند هطول الأمطار الغزيرة. ويتغير الانسياب مع مرور الزمن، ويكون تغيره هذا ناتجاً عن التذبذب بين فترات هطول أمطارعالية ومنخفضة. وبإختصار، حينما تمطر السماء يرتفع معدل مياه الأنهار. أيضاً، نحن على يقين أنه ما من نظام نهري في العالم قادر على أن يكون قناةً بمقدورها أن تنقل كل الفيضانات الممكنة من دون أن تفيض. ربما توقفت لبرهة، وفكرت في نفسك أن هذه العبارة الاخيرة غريبة، أو ربما تكون غير دقيقة. ذلك الوادي العميق منقطع النظير في ذهنك، تحديداً، جراند كانيون في أريزونا (إنظر الشكل 16-7 ب). مامن شك أن لنهر كلورادو، بالتأكيد، قناة عميقة بما يكفي لكي تنقل أي نوع ممكن من الفيضانات يمكن تخيله، اليس كذلك؟ اليس الوادي العظيم ذاته بدليل على أنه عبر الزمن الجيولوجي، نحته حدث عظيم فأصبح على ما نراه اليوم ؟

يتجاوز عمق جراند كانيون الميل الواحد في بعض المواضع (جاعلاً من نهر كلورادو قزماً، بجدران تحكي قصة ملياري عام من التاريخ على الاقل)، وهو على الارجح عميق بما يكفي لكي يحتوي أي فيضان ممكن، مع إستثناء فيضان نوح. لكن ماذا عن نظام النهر ذاته؟ منطقة الوادي العظيم ماهي إلا قطاع صغير من المناظر الأرضية التي يمر عبرها النهر في نظام مائي خلاب، ينساب عبر مئات والآف الأميال من مناظر أرضية شديدة التنوع.

هل وقع حدث مهول في الماضي الجيولوجي السحيق أدى إلى نحت هذا الوادي العظيم كما نعرفه اليوم؟ لا، فهذا مفهوم خاطيء- تشير الأدلة الجيولوجية إلى أن الوادي العظيم، والتراكيب الشبيهة به، تم نحتها عن طريق إنسيابات مائية متواضعة، إلا أنها كثيرة التكرار، نحتت، وعمقت، وشكلت، وغيرت في تركيب القناة الذي نراه اليوم.

على عكس من الإعتقاد الشائع، النظام النهري يحتوي عادة على قناة بمقدورها أن تنقل بين ضفيتها تفريغاً ذا حجم متواضع- هو إنسيابها الطبيعي. لكن الطبيعة لم تغفل حقيقة أن الأنهار تفيض، خلت هذه الأحداث بأن وفرت فراغاً لتفريغات الفيضان على أرض الوادي. لكن الناس يميلون لنسيان أن نظام النهر لا يتكون فقط من القناة النهرية، بل ويتكون ايضاً من أرض الوادي – سهل الفيضان (ويدفعون ثمن نسيانهم هذا غالياً، سواء على هيئة خسائر مادية أو بشرية). وحينما يستخدم البشر هذا الجزء من النهر للزراعة أو للبناء، فإنهم يعتدون على النهر. والنتيجة؟ حينما يحدث الفيضان، فإن الطرق، والمنازل، والمباني، والمحاصيل ربما تدمر – إضافة إلى كل مايقف في مسار النهر.

عند هذه النقطة نفهم أن الفيضانات ذات مقادير قد لا تستطيع القناة أن تتعامل مع تفريغها، والفيضان هو إنسياب يفيض عن مقدار سعة القناة، وهو حدث طبيعي كذلك، وخاصية متوقعة للأنهار (في المتوسط، تمر معظم الأنهار

بتفريغات تفوق سعة القناة مرتين في كل عام) لكن ما الذي يسبب فيضان النهر؟

هناك عدة عوامل تتسبب في تفريغ النهر لكمية من المياه تكفي لكي تغمر صنفيته وتتساب على سهل الفيضان. عادة ما يكون هطول الامطار الذي يرافقه ليسبب فيضان النهر، لكن هناك عوامل أخرى بمقدورها أيضاً أن تعززالجريان. إذا كان المنظرالارضي مبتلاً سلفاً (متشبع)، فإن التسرب يكون متعذراً، أومتناقصاً، وبذلك يتزايد الجريان. يمكن للتسرب أيضاً أن يقل أو ينخفض إلى الصفر، إذا كان المنظر الارضي متجمداً.

تؤثر الأنشطة البشرية أيضاً على الجريان، وتؤثر بالتالي على الفيضان. الفيضانات في المستوى الصغير تتأثر بالانشطة مثل رعي الحيوانات، أو تعبيد السطوح، أوالانشطة الزراعية، أوإزالة الغابات، التي تقلل من التسرب. إن التغيرات التي صنعها البشر على أوضاع السطح، التي تتوافق مع عملية تمدين منطقة ما، تشمل بالوعات الشوارع، ومصارف مياه الأمطار، وحتى أنابيب تصريف السقف، تسرع من حركة المياه السطحية إلى أسفل، كما تمنع تسرب المياه إلى التربة أيضاً. كذلك تغير التغيرات التي تحدثها المجتمعات على قناة النهر لمنع الفيضان في البلدة من إنسياب النهر– مجبرة كتل أضخم من الماء على الانسياب إلى أسفل عن طريق منع التسرب الموضعي. يمكن أن يتسبب هذا في رفع مستويات الفيضان للمجتمعات الواقعة أسفل النهر، مع تجمع المياه وحركتها إلى أسفل. الفيضانات الكبيرة أو (العظيمة) (تلك التي تسببها كميات فائقة من مياه الامطار خلال العواصف الكبيرة أو ذوبان الجليد أو الثلج، السريع والواسع النطاق) لا تتأثر عادة بالتمدين، أو الغابات، أو الممارسات الزراعية.

الغدران، والفيضانات الحضرية، والتغير البيئي وإدارة المياه

environmental change ، urban flooding،(Creeks and water management)

تعلم الكثيرون من قاطني جراند فوركس، بولاية شمال داكوتا، درساً صعباً ومكلفاً في خريف عام 1997، عن الحكمة من البناء في حدود السهول الفيضانية، أو شراء العقارات الواقعة في حدود السهول الفيضانية، بغض النظر عن مدى السكون الظاهري للنهر، أو عدد السنين التي إنقضت منذ أن فاض على ضفافه لآخر مرة. وفي الواقع، تعلم الكثير من الناس الذين عاشوا في مجتمعات على إمتداد النهر خلال تسعينيات القرن العشرين ذات الدرس الصعب. بعد فيضانات أعوام 1993 و1995 و1997 أصبحت قضية السهول الفيضانية واضحةً لنا جميعاً. تحافظ المجتمعات الآن على السهول الفيضانية خالية من العمران، وغير مستغلة، وتغرس، وتحافظ على أحزمة خضراء على إمتداد الجداول، والأنهار، متفادية إنشاء القنوات المفرط على الجداول ومخططة مناطق حجز لمياه العواصف الممطرة، وغير متداخلة مع المسار المتغير، والمتطور للممرات المائية الطبيعية.

هناك صلة قوية بين ما نبنيه في المناطق الحضرية والإنسياب الطبيعي للماء في مستجمعات المياه، وما يبدو كتغيير طفيف بمقدوره أن يؤثر على المجتمعات والبلديات والأفراد. دعنا نلقي نظرة على الوضع الإفتراضي المقدم في (الغدران الثائره) الذي كتبه مايك فور (Mike Fuhr) في مجلة ميسوري كونسير فيشنست *Missouri Conservationist*.

تشتري أسرة شابة منزلاً غير مكتمل البناء، في منطقة غير مكتملة التطوير. ويجاور عقارها غدير صغير، بحيث يمكن القفز من فوقه. هذا المنزل غير مبني في سهل الفيضان، إلا أن العقار يشمل بالفعل أرضاً واقعة في هذا

السهل. تنتقل الاسرة للعيش في المنزل خلال الشتاء. ويبدو كل شيء على ما يرام، إلى أن تبدأ أمطار الربيع، وتستبين الأسرة أن الامطار قد زادت من حجم الجدول بصورة مفزعة، وأن الجدول، في واقع الامر، يلتهم باحة منزلهم بصورة سريعة. ويصبح بمقدور ساكني البيت أن ينتبهوا إلى أنه، وفي وقت قريب جداً، سوف تهدد الارض المنكمشة، والمتآكلة بيتهم، بغض النظر عن وجود السهل الفيضاني من عدمه.

يهز باني العقار كتفيه وينفي أي مسئولية له عن الامر. وليس بمقدور المدينة أن تقدم لهم أي شيء غير التعاطف. ويقترح المهندس الذي يستدعونه، أن يقيموا جداراً فيضانياً- يدركون الآن أنه ضروري - إلا أن تقديرات تكلفته أكثر من ما دفعوه لشراء المنزل والقطعة التي أقيم عليها في المقام الاول. وليس بمقدورهم، حتى، أن يبيعوا المنزل وينتقلوا إلى مكان آخر، إذ من ذا الذي سيشتري عقاراً في وضع خطير كهذا؟

ما المشكلة؟ التغير في مستجمع المياه. إذ أن المواد الماصة التي كانت سائدة لحيز من الزمن في منطقتهم، قد تم تغييرها بصورة بالغة، وتعبيد الطريق من فوقها، وقطعها من أسفل، وتنظيفها، وإزالتها إلى بعيد. تم توجيه ماء الغدير من عند منبعه، وحولت قطاعات طويلة منه إلى خندق مبطن بالأسمنت. نقلت مجاري العواصف الممطرة مياه الامطار بصورة مباشرة إلى الغدير. عانى مالكو المنزل، وهم يحاولون أن يحافظوا على باحة منزلهم، على إستثمارهم، وعلى البيت نفسه. وعانى المجتمع حينما قاضى أصحاب المنازل مطور العقارات (في قضية قانونية مكلفة وقبيحة)، كذلك عانت البلدية وهي تكافح من أجل إيجاد الدعم لإعادة بناء الطرق، والجسور التي أثر عليها الغدير في آخر المطاف، وعانت أيضاً وهي تحاول أن تكافح الملوثات التي حملها جريان ماء العاصفة الممطرة من المناطق الحضرية إلى الجدول.

وبالتدريج، نتعلم أننا نحتاج ان نجعل التغيرات التي نحدثها على نظام الطبيعة ضئيلة وغير جوهرية بقدر الامكان، كذلك نتعلم أين نحتاج أن نحاكي تقنيات طرق الطبيعة، التي أثبت الزمن كفاءتها. وما من مكان يكون فيه ما سبق أكثر وضوحاً من إدارة المياه.

سواء على مستوى كبير أو صغير، فإننا نعرف أن تقنيات الطبيعة في إدارة المياه هي تقنيات فعالة. إنظر إلى الفيضانات التي حدثت على امتداد نهر ميسوري، في مدينة جيفرسون بولاية ميسوري، في أكتوبر من العام 1998، على سبيل المثال. في الخامس من أكتوبر 1998، وبعد هطول أمطار غزيرة، تنبأ بأن تصل قمة الفيضانات إلى 35.9 قدم عند مدينة جيفرسون. في السابع من أكتوبر وصلت قمة الفيضانات إلى مقدار 29.55 قدماً فقط، الذي هو مقدار يمكن التعامل معه بالنسبة لهذا الموقع. وفي الثامن من أكتوبر سالت العقول المفكرة (أين ذهبت المياه؟) وتبحث الاجابة عن الرأي السديد الذي طبع إستجابات الوكالات الولائية والمحلية والفدرالية لفيضانات عامي 1995 و1998 البالغة الضرر.

حطمت هذه الفيضانات دزينات من الحواجز، ومئات الهكتارات من أراضي المزارع بصورة بالغة السوء إلى درجة أن عملية الإستصلاح لم تكن معقولة من منظور إقتصادي. تدخلت مصلحة الحفاظ في ولاية ميزوري، وخدمة الأسماك والحياة البرية في الولايات المتحدة، ووحدة مهندسي الجيش الامريكي، عن طريق توفير المال وإعداد البرامج. وبحلول ديسمبر 1998إشتروا أو خصصوا 1600 هكتار من الأراضي، على امتداد نهر ميزوري. هذه الارض، التي تعمل الان كمنطقة تخفيف- التي هي نواة منطقة الحياة البرية الطينية الوطنية الكبيرة، ومسكن للأسماك والحياة البرية – توفر ثروة لا تصدق ولا تقدر بثمن من الأسماك، والصيد الترفيهي، والحياة البرية، ومصدراً للأنشطة الترفيهية

الخارجية في الولاية. وكما أثبتت الفترة من الخامس إلى السابع من أكتوبر فإن هذه الهكتارات الالف وستمائة ضرورية، نفيسه بالقدر ذاته لعميات التحكم في الفيضانات. تمتد الآف الأقدام من الهكتارات من مياه الفيضان على إمتداد السهل الفيضاني (حيث إمتلكت الطبيعة زمام الامر) بدلاً من أن تدفع إلى أسفل، حيث النهر قريب سلفاً بصورة غير مريحة من قمة الحواجز عند مدينة جيفرسون. تؤثر سعة حجز الفيضان الاضافية التي توفرها مناطق التخفيف هذه بصورة جوهرية على مستويات الفيضان إلى اسفل– الشيء الذي يمثل فائدة كبيرة جداً للمناطق السفلى.

لكن هل بمقدورنا أن نحاكي هذا في مستوى صغير لكي نساعد في التحكم في الفيضانات المحلية الصغيرة ؟ نعم. تعمل عدة طرق بصورة جيدة جداً لكي تتعامل مع صعوبات ماء الجريان قبل ان تتحول إلى مشاكل. توجيه ماء العواصف الممطرة إلى برك وبحيرات، والاحتجاز في مناطق الحدائق وفي المناطق السكنية بدلاً عن نقلها مباشرة إلى الغدران يسمح للبرك أن تطلق الماء للجداول المحلية وللمياه الجوفية بمعدل أكثر طبيعية، وتسمح للنباتات والكائنات الحية في البركة أن ترشح بعض الملوثات من ماء العاصفة الممطرة. تحافظ الأحزمة الخضراء على الماء وتتحكم بعملية التجريف. وتسمح عملية إزالة القنوات بعمليات تسرب ذات مدى أكبر. الحفاظ على النباتات الطبيعة في السهول الفيضانية، والحفاظ على هذه السهول خالية من العوائق، يوفر مكاناً يمكن للماء الفائض أن يذهب اليه.

References المراجع

"The Flood That Wasn't." *Missouri Conservationist* 59, no. 12 (December 1998): 32.
Fuhr, Mike. "Creeks in Revolt." *Missouri Conservationist* 59, no. 12 (December 1998): 14–17.

تتبع درجة حرارة النهر ومستويات الأوكسجين المذاب (أ م) قواعد مختلفة عن تلك التي تتبعها الأجسام المائية الساكنة. وبصورة عامة، تتوزع درجة الحرارة والأوكسجين المذاب بصورة متساوية في الأنهار، بالرغم من وجود إختلافات في الأوكسجين المذاب بين المناطق ذات الانسياب السريع المضطرب، والمناطق الهادئة الأكثر عمقاً، بسبب التهوية الطبيعية. يتحكم في مقدار الأوكسجين في الانظمة المائية من قبل ذوبانية الأوكسجين الغازي في الماء. وبينما يكون (أ م) عادة مرتفعاً وموزعاً بإنتظام (مقدار أ م في الأنهار والبحيرات يتراوح عادةً ما بين 8 إلى 10 أجزاء من المليون)، فإن الكائنات الحية النهرية، قد تكيفت على هذه البيئة ولها مدى ضيق من مقدرة التحمل بالنسبة لـ أ م. تعتمد الكائنات الحية الموجودة في الانظمة المائية على المقدار المحدد للأوكسجين المذاب، الذي يتحكم فيه من قبل ذوبانية الأوكسجين في الماء. أفضل الامثلة على هذا النوع من الاعتماد–هو أن أسماك السلمون المرقط تكيفت على مستويات الأوكسجين المذاب المرتفعة، وليس بمقدورها أن تعيش في الأنهار ذات المستويات التي تقل عن ذلك. 5 مج/ لتر، هو المستوي الذي تنفق عنده الأسماك. الأنظمة النهرية التي تستقبل كميات ضخمة من التلوث العضوي، تكون معرضة بصورة خاصة لنفوق الأسماك بسبب الانخفاض المناظر في مستويات الأوكسجين.

تبرز الأنهار منطقة كبيرة للتغير المتبادل ما بين اليابسة والماء (يمكن رؤية هذا بوضوح في الشكل 16-6 ص 35). معظم الأنهار هي بصورة أساسية سلاسل غذائية مبنية على الفتات، ولا يأتي مصدر طاقتها الرئيسي من النباتات الخضراء، كما هو الحال مع معظم الانظمة البيئية، بل يأتي من المادة العضوية في اليابسة المحيطة، والتي تستخدم كغذاء من قبل المفككات. تنقل المغذيات، ومنتجات النفايات عن طريق الماء المنساب من وإلى كثير من الكائنات الحية المائية، الشئ الذي يساعد في الحفاظ على مستوى إنتاجية أعلى بعدة مرات من الانتاجية في المياه الساكنة (سميث 1974).

التيار هو صفة متميزة للأنهار، وعامل رئيسي يحد من توزيع الكائنات الحية. يتحدد التيار بمدى إنحدار تدرج العمق، وخشونة قاع الجدول، وعمقه، وعرضه. شجعت التيارات في الأنهار عدداً من التكيفات الحيوية للكائنات الحية في الجداول.

مسكن النهر: River habitat

للأنهار بصورة عامة نوعان من المناطق: منطقة التيارات السريعة ومنطقة الأحواض. في منطقة التيارات السريعة، تكون سرعة التيار قوية بينما يكفي لكي تحافظ على القاع خالياً من الغرين والأوحال، وموفرةً بذلك قاعاً صلباً لنمو الكائن الحي. تكيفت الكائنات الحية التي تعيش في منطقة التيارات السريعة على الحياة في المياه الجارية. لأسماك السلمون المرقطة، على سبيل المثال، أجسام إنسيابية لكي تساعدها على التنفس وعلى الحصول على الطعام. الكائنات الحية النهرية التي تعيش تحت الصخور لها أجسام مسطحة أو أجسام إنسيابية، لكي تتفادى التيار القوي. ولبعضها الآخر خطاطيف، وممصات لكي تتشبث أو تتلصق بها على الأجسام الصلبة، لكي تتفادى أن تحمل بعيداً بقوة التيار.

منطقة الأحواض النهرية (إنظر الشكل 16-3) هي عادة مناطق المياه الأعمق، التي تسمح سرعة المياه المنخفضة بها للغرين وللأجسام الصلبة المترسبة الأخرى، أن توفر قاعا ناعماً لا تحبذه قاطنات القاع الأخرى الحساسة. تفكيك هذه المواد الصلبة يؤدي إلى وجود كميات منخفضة من الأوكسجين المذاب. تقضي بعض الكائنات الحية النهرية بعضاً من وقتها في منطقة التيارات السريعة، والبعض الآخر في مناطق الحوض.

الشكل 16–8 منطقة البركة في نهر بمنطقة أكستر، جنوب داكوتا

الصورة ل.ف. ر. سبلمان

جودة مياه النهر: River water quality

البحيرات هي كيانات لأجسام مائية معزولة، ومنفصلة، وعادة ما تكون محاطة باليابسة، وتفتقر في العادة، إلى نظام منفصل للتغذية بالمياه العذبة (مع إستثناء مياه الامطار، والتسرب، ومياه الجريان) التي تجدد من الإمداد المائي. حينما تنقل الملوثات عن طريق الجريان من اليابسة إلى مثل هذا الجسم المائي، أو حينما يتخلص الناس من المهملات، والقمامة، والأمتعة الغير

المرغوبة الأخرى برميها في الجسم المائي، فإن هذه الملوثات تمكث فيه بالضرورة. إذ أنه ما من مكان آخر لديها لتذهب اليه، ولا يوجد نظام نقل ليأخذها إلى مكان آخر. أنظمة الاجسام المائية مثل البحيرات، ليس لها مقدرات تنظيف ذاتي. بينما قد تمر مياه البحيرات ذات درجة الحرارة المعتدلة بعملية التحول مرتين في العام، وتقوم بمزج مياهها، وإستبدال مياهها السطحية بمياه القاع، إلا أن هذه العملية لا تفعل أكثر من مفاقمة مشكلة تلوث البحيرةً. إذا ألقيت مبيدات الآفات عالية السمية في نظام البحيرة، فإنها سوف تغوص في النهاية إلى رسوبيات القاع وتتراكم هناك. أثناء عملية تحول البركة، تجلب هذه السموم، وأي سموم أخرى موجودة في البحيرة من القاع ويعاد توزيعها على كامل نظام البحيرة. للبحيرات عيب مميز– وهو أنها تفتقر إلى المقدرة الطبيعية على الحفاظ على جودة مقبولة لمياهها بصورة ذاتية.

لا توجد هذه المشكلة في الانظمة النهرية. للأنهار، بسبب ميزتها الاساسية_ وجود التيار، أو الانسياب– مقدرة ذاتية على التنقية الذاتية، إلى حد ما. ومنذ أن بدأ الإنسان في الاستيطان بقرب الأنهار، بدأ كذلك في إستخدامها بكفاءة للإنتقال وحمل ممتلكاته، ولكي توفر قوة مائية، ولأجل مياه الشرب والري، كذلك إستخدم الإنسان الأسماك، والكائنات الحية النهرية الأخرى كمصدر للغذاء، كما استخدم الأنهار أيضاً كمقالب للقمامة المحلية.

تذكر، أن الإنسان يريد فقط تلك الأمتعة التي فيها بعض الفائدة أو التي يمكنه إستخدامها. وحينما يصبح متاع ما غير مفيد، أو غير ذي فائدة، أو يصبح ذا منظر لا يسر الناظرين، أو مملاً، أو بالياً، فإن الإنسان يتخلص منه برميه بعيداً "بعيد عن العين، بعيد عن البال". وتقوم الأنهار عادة بحمل مخلفات الإنسان بفعالية بعيداً عن ناظريه وبسرعة– لذلك فهي مكان مريح للتخلص من المخلفات التي لايرغب فيها الإنسان.

حينما كانت الحضارة في مراحل طفولتها اليافعة، لم تكن ممارسات البشر في التخلص من حاجياتهم تتحدد برميها في النهر، مدمرة بشدة للرقعة المحلية التي تحتلها بل كان في مقدور الإنسان أن يمشي ببساطة إلى النهر، وأن يرمي أمتعته التي لم يعد يرغب بها في النهر، وأن يقف بإزائه، ويراقبها وهي تغرق أو يأخذها التيار بعيداً، وفي كلتا الحالتين، كان هذا ما يريد.

مع تطور الحضارة وتحول المستوطنات على ضفاف الأنهار إلى مدن، واصل الإنسان طريقته في التخلص من عدد متزايد من الأمتعة والمخلفات غير المرغوب فيها، برميها في النهر– لكن هذه المواد أصبحت الآن تشمل مياه المجاري ذات المصدر البشري، والنفايات العضوية، والجريان الكيميائي وغيرها. وواصل النهر في حمل ما يستطيع إلى مصبه– "بعيداً عن العين".

بدا الإنسان وكأنه يعتقد أنه ولأن الأنهار تنساب فلا بد أن ماء النهر لا يكون قذراً(أو ملوثاً بصورة أو بأخرى) إلا بصورة مؤقتة فقط، كذلك بدا وكأن الإنسان يعتقد أيضاً أن الأنهار سوف تستمر في حمل هذه ما لا نهاية إلى بعيداً عن ناظريه. إلا ان أعداداً أكبر، من الناس إنتقلت للعيش بقرب الأنهار، وتزايدت في الوقت ذاته عملية رمي المخلفات والأمتعة غير المرغوب فيها وحاول النهر تقديم أفضل ما لديه، من أجل أن ينظف نفسه، ومن أجل أن ينقل هذه إلى مصبه بعيداً عن الأنظار. لكن هل كانت هذه المخلفات بعيدة عن العين حقيقةً؟ الإجابة عن هذا السؤال هي نعم، بالنسبة للقاطنين على منبع النهر، وهي لا، بالنسبة للقاطنين عند مصبه.

تقدم الزمن الى الأمام، ومع مروره حلت الثورة الصناعية في بريطانيا العظمي. وجلبت الصناعات المتزايدة أناساً أكثر، وراكم هؤلاء أمتعةً ومخلفات غير مرغوب فيها، أكثر، لكي يتم رميها في نهر التايمز الأسطوري. وكان بمقدور التايمز أن يعالج قسطاً محدوداً من هذه النفايات الداخلة اليه بصورة متواصلة.

ثم وصل النهر أخيراً إلى حد لم يعد فيه يحتمل. فقد حولت الممارسات البشرية التايمز من نهر إلى بالوعة قاذورات مفتوحة. فالنهر الذي كان ومايزال يستخدم مستودعاً للنفايات والمخلفات غير المرغوبة، لم يعد يحتفظ بها بعيداً عن العين. فأصبح بدلاً عن ذلك عبارة عن نهر من القذارة الطافية، ومصدر إمداد مائي يحمل أمراضاً قاتلة، ورائحة عفونة نفاذة، فظيعة لا تحتمل. وفي نهاية المطاف، وصل سكان لندن أيضاً إلى قمة تحملهم، وأصبح من المحتم عمل شيء لتنظيف التايمز.

تكرر سيناريو تلويث النهر هذا، عدة مرات في عدة أماكن عبر العالم، ومازال متواصلاً في بعض الأماكن. إن للأنهار القدرة الفيزيائية على تنظيف نفسها، والحفاظ على جودة مياهها، إلا أن لهذه القدرة حدوداً. ويبدو أن للبشر القدرة على إيصالها إلى هذا "الحد" بشكل أو بآخر.

دراسة الحالة 4-16
(Case Study)
نهر ويلاميت
(The Willamette River)

هل تحسنت مستويات التلوث في نهر ويلاميت؟ في العام 1998، وفي مقاله لجريدة الأوريغونيان *Oregonian* المعنون (نهر في خطر من أن يدرج في قائمة الدعم الفائق) كتب برنت والث Brent Walth:

نهر ويلاميت ملوث جداً في جزئه الذي يمر عبر بورتلاند، إلى درجة أن الحكومة الفيدرالية تعتزم تسمية الأراضي التي يمتد فيها وعلى طول 5.5 ميل مواقع دعم فائق...

تجري أنواع القطران، ومبيدات الآفات، والسموم الكيميائية الأخرى التي تغطي رسوبيات ويلاميت، بعد عقود من النشاط الصناعي في مرفأ بورتلاند، والممتد إلى أسفل جزيرة سوان، إلى جزيرة سوفي...

أزعج خطر إدراج النهر الواقع في قلب أوريغون كموقع للدعم الفائق، مسؤولي الولاية، ونبه أصحاب الأعمال التجارية الواقعة على إمتداد النهر والتي ربما ساهمت عقاراتهم في التلوث...

من بين هؤلاء توجد الشركات التي تمتلك محطات النفط الواقعة على إمتداد النهر، وتشمل هذه شركات جاتكس Gatx، وتايم أويل،Time Oil وتاسكو Tasco. ورثت بعض الشركات- بما فيها تاسكو، وهي محطة تشغيل نفط، وجندرسون (Gunderson)، وهي شركة تصنيع عربات السكة الحديدية، وإلف أتوكيم (Elf Atochem)، وهو مصنع للمواد الكيميائية- التلوث الصناعي حينما أشترت مواقعها.إلا أن بعضها الآخر مثل الميناء، ومشغل إصلاح السفن كاسكيد جنرال (Cascade General) ومرفق الغاز إن دبليو ناتشرال (N. W. Natural)، ربما تكون محشورة في الزاوية، بسبب التلوث الذي أحدثته عملياتها الخاصة...

مع التسليم بصعوبة تحديد مصدر تلوث الرسوبيات، فإن تقييم المسئولية يمكن أن يكون عملية شائكة، يأمل مسؤولو مصلحة جودة البيئة أن يتفادوها بالتعاون الطوعي للمجموعة.

"لسنا نتقدم لنقول بأننا مسؤولون بصورة خاصة عن أي من هذه المشاكل" هكذا قال دين ماريوت (Dean Marriott)، مدير هيئة الخدمات البيئية في مدينة بورتلاند، الذي ربما ساهمت منافذ الصرف الصحي الذي تستخدمه في التلوث.

في فبراير من العام 2004 وفي مقاله بجريدة رجيستر جارد *(Register-Guard)* والمعنون (تقول OSPIRG أن عملية تنظيف النهر تفشل) كتب جم فيهان (Jim Feehan):

وبخت منظمة لحماية البيئة والمستهلك يوم السبت، الحاكم تيد كولوقنوسكي (Ted Kulongoski) لسجله في ما يخص تنظيف نهر ويلاميت، أثناء فعالية حول الصحة العامة للممر المائي.

تعتقد المجموعة البحثية الطلابية لقضايا المصلحة العامة في أوريجون، أو OSPIRG أن الحاكم قد فشل في الإيفاء بوعده الإنتخابي بتقليل الإنبعاثات السامة، وزيادة فرض القوانين البيئية، وجعل الملوثين يدفعون ثمن تلويث النهر، وفقاً للمدافع عن الماء النظيف ومكافحة السموم بالمجموعة البحثية الطلابية لقضايا المصلحة العامة في أوريجون،، ريت لورنس (Rhett Lawrence)...

في كل عام يُلقى بحوالي 4 مليون رطل من الديوكسين، والرصاص، والزرنيخ ومبيدات الآفات،والسموم الكيميائية الأخرى في نهر ويلاميت، هكذا قال لورنس.

وجدت دراسة أجرتها مصلحة الجودة البيئية في أوريغون على حوض نيوبورغ من نهر ويلاميت، أن خمسين بالمائة من كل الأسماك التي تم القبض عليها بها تشوهات هيكلية فادحة، وفي العام 2000 تم إدراج النهر في قائمة الدعم الفائق الفدرالي، هذا التصنيف الذي يعطي فقط لأكثر المواضع تلوثاً في البلاد، هكذا قال...

قال والكر إن قصة غلاف في مجلة ناشونال جيوغرافيك *National Geographic* في العام 1972 هللت للنهر،كونه تم إستصلاحه من حالة التدهور البيئي.

وبعد ثلاثة عقود لاحقة، بات النهر "بالوعة من السموم.. ونهراً للموت"، هكذا قالت.

من الواضح أن المشاكل مازالت موجودة- وهذه المشاكل مرتبطة بالتمويل وبفرض القوانين. وبما أن 70% من سكان أوريغون يعيشون بالقرب من نهر ويلاميت، فإن تلوثه يعتبر قضية ومثار قلق بالغ. زر الموقع Superfund/www.willameite-riverkeeper.org/ لكي تعرف الوضع الحالي لتنظيف نهر ويلامت.

جودة مياه أي نهر هي،على الأقل، إنعكاس جزئي لأولئك الذين يعيشون، ويعملون بالقرب منه. تاريخ الناس والمجتمعات التي تعيش على إمتداد النهر مكتوب على النهر، لأولئك الذين يستطيعون أن يقرأوه. تاريخ نهر ويلاميت واضح لنا جميعاً لكي تقرأه، وإن كان موجوداً،في هذا الخط الزمني:

1840 بداية تجريف نهر ويلاميت.

1859 نهر ويلاميت يعزز من الماء المتحصل عليه من غدير كروثرز (Crauther's Creek) في بورتلاند.

1861 فيضان نهر ويلاميت يبلغ 47 قدماً.

1863 إنشاء خزان على شلالات ويلاميت.

1866 بداية عمليات الصيد التجاري في أوريغون.

1871 إحتجاج مواطني بورتلاند على جودة وأسعار المياه.

1872 اقتراح نظام مياه مديني في بورتلاند، عدة مدن تتبني نفس النظام بعد ذلك.

1872 تمرير المشرعين قانوناً يحظر إستخدام المتفجرات أو السموم لصيد السلمون.

1873 فتح هويس مدينة أوريغون للحركة النهرية .

1878 صناعة التعليب تبني أول مفقسة وطنية على حوض كولومبيا عند رافد نهر كلاكاماس.

1878 الولاية تنظم مواسم الصيد.

1878 تأسيس مفوضية الأسماك في أوريغون.

1881 فيضان نهر ويلاميت يبلغ 44.3 قدماً.

1884 قيام مواطني بورتلاند بمظاهرات إحتجاج على حال مياه شربهم.

1885 سيطرة مدينة بورتلاند على النظام المائي.

1886 مخزونات نهر كولومبيا عند شينوك تظهر نضوباً واضحاً.

1886 نقل مدينة سالم لمنشآت مياه ويلاميت إلى ناحية المنبع من أجل تفادي التلوث.

1887 تأسيس مجلس مفوضي الولاية لكي يفرض قوا نين الصيد، والصيد الترفيهي.

1890 فيضان نهر ويلاميت يبلغ 44.3 قدماً.

1892 الولاية تنشأ صندوقاً لدعم المفاقس.

1894 فيضان نهر ويلاميت يبلغ 26.9 قدماً.

1895 مدينة بورتلاند تتخلي عن نهر ويلاميت وتتخذ من نهر بل رن مصدراً جديداً لمياه الشرب.

1901 فيضان نهر ويلاميت يبلغ 31.5قدماً.

1901 إطلاق أول أسماك سلمون كوهو في أوريغون.

1902 المصادقة على قانون الإستصلاح.

1903 فيضان نهر ويلاميت يبلغ 28.6 قدماً.

1907 فيضان نهر ويلاميت يبلغ 31.3 قدماً.

1909 فيضان نهر ويلاميت يبلغ 30.5 قدماً.

1909 الولاية تطالب بتراخيص للصيد.

1911 المجلس الصحي للولاية يصف نهر ويلاميت بأنه "أنبوب مجرى مفتوح"، المواطنين يستخدمون "علب الغلي" ويقاسون أوبئة التيفويد.

1916 فيضان نهر ويلاميت يبلغ 26 قدماً.

1918 إغلاق نهر ويلاميت في وجه صيد السلمون التجاري.

1919 مدينة بورتلاند توافق على قانون سهل الفيضان.

1920 منع السباحة في نهر ويلاميت.

1923 فيضان نهر ويلاميت يبلغ 30.3 قدماً.

1926 المجلس الصحي للولاية يعقد مؤتمر نهر ويلاميت عن التلوث، ويبتدر دراسة علمية، ورابطة مناهضةً للتلوث.

1927 مدينة بورتلاند تبتدر دراسة دقيقة لتلوث النهر، وتجد أن مستوى الأوكسجين غير كافي لدعم الحياة المائية.

1927 حظر طواحين السمك في كولومبيا بأوريغون.

1928 نادي مدينة بورتلاند يطلق تقريراً يجد أن منافذ الصرف المجاري هي أسوأ مصادر التلوث داخل حدود المدينة.

1928 بداية العمل في تشييد الجدار البحري الذي يمتد على طول ميل تقريباً.

1929 الولاية تمرر قانوناً يطالب بتفحص خنادق الري .

1930 بداية الضغوطات المطالبة بمشروع خزان وادي ويلاميت.

1932 وحدة المهندسين تقول إن التحكم في فيضان نهر ويلاميت غير ضروري.

1933 دراسة ولائية تجد أن مطاحن لب الأشجار على نهر ويلاميت هي مصدر رئيسي لتلوث النهر.

1934 تقرير تسرب الصرف الصحي في بورتلاند يجد أوحال صرف صحي ومواد متحللة على سطح النهر، مواطنو بورتلاند يوافقون على منشآت لمعالجة مياه المجاري.

1936 نشر دراسة تلوث مطاحن لب الاشجار للعامة.

1936 الكونغرس يجيز قانون التحكم في الفيضان الفدرالي، ويعطي وحدة المهندسين دوراً في التحكم في الفيضانات وفي الإنجراف، وفي تطوير القوة المائية

1937 تقرير وحدة المهندسين يوصي بمشروع خزانات وادي ويلاميت من أجل حركة النقل، والتحكم بالفيضانات، والري والقوة المائية، والتخلص من الملوثات.

1937 الحاكم يستخدم حق النقض ضد محاولة تشريعية لتقوية قانون التحكم في تلوث المياه

1938 إكتشاف وجود بكتريا الإي كولاي في نهر ويلاميت، والموافقة على مبادرة تنقية المياه من قبل الناخبين في الولاية، تعطي هذه الإتفاقية السلطة لسلطة الصحة الولائية (SSA).

1938 الكونغرس يوافق على تمويل بناء 13 خزاناً ومستودعاً في وادي ويلاميت.

1942إكمال أول خزان بوادي ويلاميت، خزان فرن ريدج (Fern Ridge).

1943 فيضان نهر ويلاميت يبلغ 30.6 قدماً.

1944 وجد العلماء أن النهر أسفل شلالات مدينة بورتلاند خال تماماً من الأوكسجين.

1944 إكمال الخزان الثاني على نهر ويلاميت، كوتج جروف (Cottage Grove) .

1944 الولايات المتحدة تشارك في الحرب العالمية الثانية، تزايد شدة التنمية الصناعية على إمتداد ميناء بورتلاند؟

1949 إكمال الخزان الثالث على نهر ويلاميت، دورينا (Dorena).

1949 حظر إستخدام شباك الجر، والأفخاخ، والشباك في ولاية أوريغون.

1950 الولاية تشكك في الحاجة لإنشاء خزانات فدرالية إضافية في أوريغون.

1952 سلطة الصحة الولائية تأمر طواحين لب الاشجار بالتوقف عن رمي النفايات في النهر، الصناعة لا تمتثل.

1953 فيضان نهر ويلاميت يبلغ 37.78 قدم.

1953 إكمال العمل في الخزانين الرابع والخامس على نهر ويلاميت، دتدرويت (Detroit) وبغ كليف (Big Cliff).

1954 إكمال العمل في الخزانين السادس والسابع على نهر ويلاميت، دكستر (Dexter) ولوك أوت بوينت (Lookout Point).

1957 الولاية تشدد من القوانين المضادة للتلوث.

1957 مفوضية الأسماك في أوريغون تدرس المشاكل التي تواجهها الاسماك في تكوين قشرها عند شلالات ويلايمت.

1960 الحاكم مارك هاتفيلد (Mark Hatfield) يريد حماية قيعان السلمون من تجريف الرمل والحصى .

1961 إكمال الخزان الثامن على وادي نهر ويلاميت، هل كريك (Hill Creek).

1962 توم مككال (Tom McCal) ينتج الفلم الوثائقي: التلوث في الفردوس، عن نهر ويلايمت.

1963 الولاية تعطي التفويض لسلطة الولاية الصحية لكي تغلق الصناعات الملوثة.

1963 إكمال الخزان التاسع على وادي ويلاميت، كوجر (Cougar).

1964 إنتخاب توم مككال حاكماً، الذي يتحدى مطاحن لب الاشجار، والصناعات الملوثة الأخرى عن طريق فرض متطلبات مكافحة التلوث.

1964 فيضان نهر ويلاميت يبلغ 37.78 قدماً.

1964 المواطنون يهزمون مبادرة جمع توقيعات من أجل حظر الصيد التجاري في نهر ويلاميت.

1965 وصول أقل من 100 سلمون شينوك الشلالي إلى شلالات ويلاميت.

1966 الولاية تأمر المدن، والصناعات بخفض التلوث والبدأ في إدارة النمو والتخطيط له، بداية تخطيط نهر ويلاميت.

1966 إكمال الخزان العاشر على نهر وادي ويلاميت، فول جريك (Fall Greek).

1966 فيضان نهر ويلاميت يبلغ 26.88 قدماً.

1967 الحاكم توم مككال يقترح حزام نهر ويلاميت الأخضر.

1968 إكمال الخزانيين الحادي عشر والثاني عشر على وادي ويلاميت، فوستر (Foster) وجرين بيتر (Green Peter)

1968 حكام ولايات إداهو، وأوريغون، وواشنطون يؤسسون المجلس الاستشاري لمصايد نهر كولومبيا (Columbia River Fisheries Advisory Council). هذا المجلس سيصبح لاحقاً سلطة الحياة البرية والأسماك بحوض كولمبيا.

1969 إكمال الخزان الثالث عشر على وادي ويلاميت، بلورفر (Blue River).

1972 الكونغرس يوافق على قانون الماء النظيف.

1972 مجلة الناشونال جيوغرافيك تكتب مقالاً على التنظيف المعجز لنهر ويلاميت.

1972 فيضان نهر ويلاميت يبلغ 30.32 قدماً.

1972 قانون أوريغون للممارسات الغابية.

1973 قانون الأنواع المعرضة للخطر.

1974 فيضان نهر ويلاميت يبلغ 32.32 قدماً.

1974 إغلاق مصيدة سوكي لصيد السلمون، اندماج مفوضية الاسماك بأوريغون مع مفوضية الحياة البرية لتكوين مصلحة الاسماك والحياة البرية بأوريغون.

1975 مواطنو أوريغون، يحظرون بيع سمك سلمون قوس قزح بواسطة غير الهنود الحمر، عن طريق جمع التوقيعات.

1976 إغلاق مصيدة الشينوك الربيعية لنهر كولومبيا.

1977 مصلحة الأسماك والحياة البرية بأوريغون، ترسي أول سياسة للأسماك الأصلية (Native Fish Policy) كنتيجة لمجهود المواطنين.

1980 الكونغرس يصدر قانون قوة إن دبليو، ويجعل حماية السلمون وتعزيزه مترافقاً مع إنتاج القوة في حوض كولومبيا.

1985 الولاية تزيد من شدة مراقبة النهر. برنامج فصل منافذ الصرف الصحي المتجمع يبدأ في عدد من مدن وادي ويلاميت. التخطيط لإدارة مياه العواصف الممطرة يبدأ في معالجة الجريان من الطرق والأراضي.

1985 الولايات المتحدة وكندا توقعات على اتفاقية إعتراض السلمون بعد 20 عاماً من المفاوضات.

1986 إنقراض سلمون الكوهو في نهر سنيك (Snake River).

1987 مجلس التخطيط لقوة إن دبليو يتبنى برنامج المناطق المحمية، ويضع44,000 ميلاً من جداول السلمون وسلمون قوس قزح خارج نطاق تطوير الخزان الهيدروليكي.

1991 السانتور مارك هتفيلد يعقد أول قمة سلمون.

1992 بورتلاند تمر بنقص في المياه، وتتم مناقشة جدية لإستخدام نهر ويلاميت كمصدر لمياه الشرب.

1992 مصلحة الاسماك والحياة البرية بأوريغون تراجع سياستها بخصوص الأسماك البرية، وتضع معايير الحفاظ على الجينات لإدارة الأسماك البرية، أنتج هذا التغيير عن طريق التأييد العام وليس بمبادرة من الوكالة .

1993وجدت دراسة أجرتها مصلحة جودة البيئة أن 80% من عينات الأسماك في نهر ويلاميت بها خياشيم مشوهة. .

1994 الحاكمة باربرا روبرتس (Barbra Roberts) توقع على برنامج (تبنى نهراَ).

1996 تكوين مجموعة عمل جودة مياه نهر ويلاميت بواسطة الحاكم كيتزهابر (Kitzhaber).

1996 فيضان نهر ويلاميت يبلغ 44.5 قدماً.

1996 وحدة المهندسين ومصلحة مصادر المياه بأوريغون تبتدر دراسة مستودع حوض ويلاميت لتخطيط الإدارة المستقبلية لنظام WVP.

1997 تقرير لوحدة المهندسين يقترح إزالة أربعة خزانات من على نهر سنيك.

1997 فيضان نهر ويلاميت يبلغ 29.45 قدماً.

1998 تصنيف نهر ويلاميت من سبرنغفيلد إلى بورتلاند نهراً من التراث الأمريكي(American Heritage River).

1998 ميناء بورتلاند مهدد بالإدراج في قائمة الدعم الفائق الفيدرالية.

1998 الناخبون يوافقون على إستخدام نهر ويلاميت كمصدر لمياه الشرب في بعض الضواحي الجنوبية لبورتلاند.

1998 (METRO) تتبنى العنوان 3، الذي يحد من التطوير على سهل الفيضان.

1998 إدراج سلمون قوس قزح الأصلي في أسفل حوض نهر كولومبيا في قائمة الأنواع المهددة من قبل خدمات المصائد البحرية الوطنية (National Marine Fischeries Services).

1998 لجنة توصي بوقف الدعم للمفاقس الجديدة.

1998إتحاد بناء المنازل الحضرية يدعو لمقاطعة الإنشاءات في منطقة بورتلاند الحضرية إحتجاجاً على العنوان 3.

1999 إطلاق الرسوبيات الملوثة عند جزيرة روس (Ross Island). وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة (Environmental Protection agency U. S.) ترفض معايير أوريغون المقترحة لدرجة حرارة الماء في نهر ويلاميت.

1999 إدراج أسماك شينوك الربيعية في وادي ويلاميت وسلمون قوس قزح الشتوي في قائمة الأنواع المحمية.

1999 توقع إدراج أسماك سلمون الثور وسلمون الزغيم في قائمة الانواع المعرضة للإنقراض.

المراجع

References

Feehan, Jim. "OSPIRG Says River Cleanup Failing." *Register-Guard*, February 22, 2004: www.registerguard.com/news/2004/02/22/c1.cr.willamette.0222.html

Walth, B. "River Risks a Superfund Listing: The State Plans a Cleanup of the Willamette through Portland to Avoid the Federal Status." *Oregonian*, October 23, 1998.

الأنـهار والتنقيـة الذاتيـة:

(River and self-purification)

تحافظ الأنهار عادة على التوازن ما بين الحياة النباتية والحيوانية، مع تبادل للمنفعة كبير يجري بين أشكال الحياة المتنوعة. في النهر الصحي (healthy river)، حينما تدخل المادة العضوية، تقوم البكتريا باستقلابها، وتحويلها إلى

ثاني أكسيد الكربون، وأمونيا، وكبريتات، ونترات وما إلى ذلك. وتستخدم هذه المواد بدورها بواسطة الطحالب، والنباتات لإنتاج الأوكسجين والكربوهيدريتات. وتتغذي الحيوانات المجهرية (الدولابيات والبروتوزوا) على الحياة النباتية مباشرة وتوفر بدورها الغذاء للحشرات والديدان والقشريات والسمك. حتي النفايات التي تنتجها الكائنات الحية التي تعيش في بيئة النهر توفر مصدراً للغذاء (يساعد على عملية التحلل البكتيري) لبعض الكائنات الحية النهرية.

إلا أنه، عندما يرمى بكميات فائضة من الملوثات في النهر، فإن هذه الملوثات تخل بهذا التوازن الطبيعي بعدد من الطرق، وربما أدت في نهاية المطاف إلى موت النهر. التغيرات في الأس الهيدروجيني، أو الكميات الفائقة من المادة العضوية قد تؤدي إلى نمو بكتيري سريع، ونضوب مصادر (DO) في النهر. وتتكون نتيجة لذلك أعداد ضخمة من أنواع قليلة فقط من الأحياء مع غياب واضح للتنوع الحيوي ولاسيما الأنواع في أعلى السلسلة وهذا ما يميز الأنهار الملوثة عموماً. فإذا لم يكن باستطاعة الأنهار القدرة على أن تنظف نفسها، لتحولت من زمن بعيد إلى لاشيء آخر غير كتل متحركة ببطء (أو غير متحركة بالمرة) من القاذورات الراكده.

ولكن كيف تنظف الأنهار نفسها ؟ حينما تدخل الملوثات إلى نظام نهري، فإن النظام يعمل على خفض تركيز الملوث عن طريق التخفيف، والترسيب، والأكسدة البكتيرية، أو عن طريق وسائل طبيعة أخرى. وإذا ما أعطيت هذه العمليات الوقت اللازم، فإنها تعمل علي إعادة تأسيس الدورة المعتادة، وعلى توزيع أشكال الحياة داخل النظام النهري. تعتمد معايير جودة المياه داخل النظام النهري على الحفاظ على الحد الأدنى من تراكيز الأوكسجين المذاب، والتراكيز غير السامة لأنواع كيميائية محددة، والأس الهيدروجيني الذي تكون قيمته متعادلة، أو قريبة من ذلك (مكجي 1991). فالنهر الصحي لديه سعة

طبيعية للإستيعاب وللمساعدة في معالجة النفايات، بدون الإضرار الفادح بالمستخدمين عند مصب النهر.

قبل أن نبدأ مناقشتنا للتنقية الذاتية للنهر، يجب عليك أن تفهم مصطلحين إثنين، لما لهما من أهمية في التأثير على تلوث النهر.

1- **الأوكسجين المذاب (Dissolved Oxygen-DO):** هو مقدار الأوكسجين المذاب في النهر. وهو مؤشر على درجة صحة النهر ومقدرته على دعم نظام مائي بيئي متوازن. مع إنخفاض الأوكسجين المذاب عن معدل 5 ملغم/ لتر، تتناقص أشكال الحياة التي يمكن أن تظل على قيد الحياة. في الحالات المتطرفة، وعندما توجد الظروف اللاهوائية، فإن الأشكال العليا من الحياة تقتل، أو تموت، أو تطرد بعيداً، وتسود أوضاع وبيلة.عملية إزالة الأوكسجين عن طريق تفكيك الأحياء الدقيقة للنفايات، وعملية إضافة الأوكسجين عن طريق إعادة التهوية، هما عمليتان متنافستان تزيلان الأوكسجين وتضيفانه في الوقت ذاته من وإلى النهر (ماسترز 1991). يأتي الأوكسجين من الجو عن طريق المحلول، ومن عملية التمثيل الضوئي للنباتات المائية. في الأنهار السريعة، يضاف الأوكسجين بصورة اساسية عن طريق إعادة التهوية من الجو في مناطق التيارات السريعة، والشلالات، والشلالات الصغيرة (إنظر الشكل 16-9و 62 16-10و 63). عادة ما تكون تراكيز الأوكسجين المذابة أعلى وأكثر إنتظاماً من السطح إلى القاع في الجداول من ما عليه الحال في البحيرات.

2- **الطلب الكيميائي الحيوي على الأوكسجين (Biochemical Oxygen Demand – BOD):**

هو مقدار الأوكسجين المطلوب لعملية الأكسدة الحيوية للنفايات العضوية عبر فترة معينة من الزمن. (BOD) مهم في عملية التنقية الذاتية، لأنه ومن أجل تقدير معدل إزالة الأوكسجين من النهر لابد لنا من معرفة مقدار (BOD) لفترة خمسة ايام ومعرفة مقداره النهائي.

حينما يستقبل النهر مقداراً فائضاً من النفايات العضوية، فإنه يبرز تغيرات متعددة، يمكن التفريق بينها وتصنيفها إلى مناطق. عند منبع النهر، وقبل أي نقطة مفردة من تفريغ التلوث، يعرف النهر بأن به منطقة نظيفة (clean zone) (إنظر الشكل 16-10أ). عند نقطة تفريغ النفايات، يصبح الماء معكراً، وهذه هي منطقة التلوث الحديث (zone of recent) pollution. وليس بعيداً من نقطة التفريغ، وحيث تنخفض مستويات الأوكسجين المذاب بشكل حاد، وتصل في بعض الحالات إلى الصفر، توجد المنطقة التي تسمى بالمنطقة النتنة Septic Zone.

بعد أن يتم تحليل النفايات العضوية بصورة كبيرة، تبدأ مستويات الأوكسجين المذاب في الإرتفاع في منطقة التعافي (recoveryzone). وفي نهاية المطاف، إذا ما أعطي النهر زمناً كافياً ولم ترمِ فيه نفايات إضافية، فإنه سوف يرجع إلى أوضاع تشابه الظروف الموجودة في المنطقة النظيفة.

يوضح الشكل 16-10ب تأثير النفايات العضوية على الأوكسجين المذاب في نهر، ونتيجة الهجوم على النفايات العضوية من قبل الكائنات الحية التي تستخدم الأوكسجين في عملية التحلل. وكما هو واضح، توجد علاقة تناسب عكسي ما بين الأوكسجين والمادة العضوية في النهر. كلما كبرت قيمة (BOD) كلما أصبح النهر أقل مناسبة للإستخدام البشري.

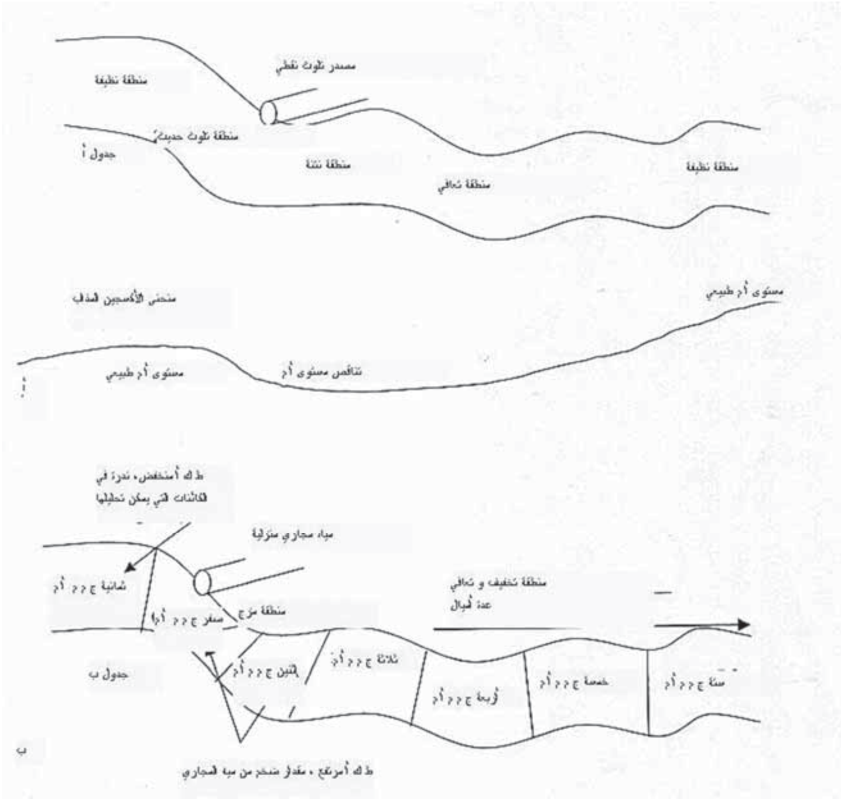
الكائنات الحية المائية ودورها في عملية التنقية الذاتية:

Aquatic organisms and their role in self-purification

عملية التنقية الذاتية (self-purification) في النهر تشبه عملية تنقية معالجة مياه المجاري الثانوية (إنظر الفصل 18) التي تستخدم عمليات حيوية وكيميائية لإزالة معظم المادة العضوية. في هذه المناقشة، سوف نتحدّث عن العملية الحيوية.

تعمل بعض العوامل المحددة كمؤشرات على جودة المياه في عملية التنقية الذاتية الحيوية. تشمل المؤشرات الأربعة المهمة منها عدد بكتريا الكوليفورم (Coliform Bacteria Count)، تركيز أ م، وتركيز BOD، والمعامل الاحيائي BO (Biotic Index) (عدد الكائنات الحية التي توجد في مراحل مختلفة من التنقية الذاتية للنهر ونوعها هي مؤشرات مباشرة – لأحوال المياه).

الشكل 16-9 شلال في نظام نهري، يساعد على إعادة تهوية الماء. شلالات رننج إيقل (Running Eagle Falls)، مثلجة الحديقة الوطنية (Glacier National Park) بمونتانا. الصورة لف. ر. سبلمان.



الشكل 16-10 أ. التغيرات التي تحدث في نهر بعد تلقيه كميات فائضة من مياه المجاري الخام. ب. تأثير الفضلات علي أ. م. مأخوذ من إنجر وآخرون. علم البيئة: دراسة العلاقات البينية. 1989.

تحلل الكائنات الحية أو تفكك النفايات العضوية. تظهر الأنهار تغيراً في نوع الكائنات الحية الموجودة فيها مع تناقص قوة النفايات.تسود أعداد ضخمة جداً من البكتيريا. مع إستقبال النهر للفضلات العضوية، يسود عدد كبير جداً من البكتيريا، لأن هذه البكتيريا تزدهر بفضل الطاقة التي تتلقاها من النفايات العضوية. بعض هذه البكتريا توجد في العادة في الأنهار. وبعضها الآخر، مثل الأحياء الدقيقة الداخلية (بكتريا الكوليفورم، توجد بأعداد كبيرة في الأمعاء، ولذلك توجد في براز البشر، والحيوانات الأخرى) لا توجد عادة في بيئة

الجدول. بينما يتعزز نمو بكتيريا الجدول المعتادة بشدة بوجود المغذيات العضوية، تموت الكوليفورم والكائنات الممرضة الأخرى خلال بضعة أيام، وربما يحدث ذلك بسبب المفترسات والظروف الغير ملائمة. تسود البكتيريا من منطقة التلوث الحديث إلى نهاية منطقة التعفن. إذا كان الحمل العضوي عالياً فإن أنواع البكتيريا تتحول من هوائية (تحتاج إلى الأوكسجين) إلى لا هوائية (لا تحتاج إلى الأوكسجين) بسبب التغيرات المماثلة في الظروف التي تؤثر عليها.

مع إستمرار التثبيت، يبدأ غذاء البكتيريا في الإضمحلال، بسبب إستهلاكه من قبل أعدادها الكبيرة. وتبدأ البروتوزوا في الزيادة وتسود في نهاية المطاف. تتغذى البروتوزوا وحيدة الخلية (الأميبا، والبراميسا، والهدبيات) على البكتيريا. ومع تضاءل إمداد البروتوزوا الغذائي، تتناقص أعدادها، ويتم إستهلاكها من قبل الدولابيات، والقشريات الموجودة في منطقة التعافي. خلال هذه الفترة تتناقص العكورة ويتزايد النمو الطحلبي.

الحشرات المائية تتأثر هي الأخرى في الأنهار الملوثة. في المنطقة النتنة، على سبيل المثال، تختفي الحشرات قليلة الإحتمال مثل حورية ذبابة مايو. وتبقى فقط، الحشرات التي تتنفس الهواء، أو الحشرات ذات التأقلم الخاص مثل يرقات البعوض التي تعيش على مستويات منخفضة من الأوكسجين المذاب الموجودة في المنطقة النتنة. وحينما تكتمل تنقية النهر للفضلات العضوية، تعود الطحالب مرة أخرى.

الكائنات الحية العليا مثل الحشرات تأكل الطالحب، وتكون هي ذاتها غذاء للأسماك. هذه العملية بجملتها، والتي تعرف بالتعاقب الحيوي العام (Biological Succession General)، هي عامل حاسم في عملية التنقية الذاتية للنهر.

المياه الجوفية (Ground water)

في المتوسط، تسقط 3 أقدام من الماء على كل قدم مربع من الارض في كل عام. وتعود 6 بوصات من هذا الماء بالتقريب إلى البحر. ويفقد مقدار قدمين آخرين في عملية التبخر. وتتسرب البوصات الستة الباقية عبر الفجوات، والفراغات، والتجاويف إلي التربة الشبيهة بالاسفنج. في رحلته إلي أسفل عبر التربة، قد يذهب الماء عدة/أو مئات الاقدام قبل أن ينضم إلى المخزونات التحت ارضية من السائل، والتي تشكل إمداد الارض من المياه الجوفية–وبصورة حرفية، محيط تحت أقدامنا.

إمداد المياه الجوفية هو مخزون ضخم جداً يغذي كل النوافير، والينابيع الطبيعية في الأرض. في بعض الأوقات، وفي أماكن محددة، تأخذ هذه المياه شكل أحواض باردة زرقاء تتصاعد منها الفقاعات، وفي أماكن أخرى عميقة جداً بدرجة لايمكن تخيلها، تسخن هذه المياه، وتكون البخار، وتنفجر في السطح مرة أخرى في هيئة عيون فوارة، وينابيع حارة. يوجد معظم إمداد كوكب الأرض من المياه الجوفية على مقربة شديدة من السطح، يمكن الوصول اليه بسهولة عن طريق حفر بئر أو حفير في مستوى المياه الجوفية. ظلت هذه الممارسة موجودة على مدى الآف السنين وتسارع معدلها مع تزايد أعداد سكان الأرض. وبهذه الطريقة،عملت المياه الجوفية كمصدر يمكن الإعتماد عليه لمياه الشرب للملايين من سكان الارض، كما ينبغي أن تظل مصدراً حيوياً لأعوام كثيرة قادمة، إذا ما أستخدمت بإعتدال.

إستخدامات ومصادر المياه الجوفية:

(Groundwater uses and sources)

تزود المدن الكبيرة بصورة أساسية بالمياه السطحية، بينما تستخدم معظم المجتمات الصغيرة المياه الجوفية. يساعد هذا الوضع على شرح حقيقة أن الجزء الأكبر من سكان الولايات المتحدة يتم إمدادهم بالمياه السطحية، لكن العدد الكلي للمجتمعات التي يتم إمدادها بالمياه الجوفية يبلغ 4 اضعاف مثيلاتها التي تمد بالمياه السطحية.

للمياه الجوفية عدة خصائص تجعلها مرغوبةً كمصدر للإمداد المائي: يوفر نظام المياه الجوفية تخزيناً طبيعياً ويلغي الحاجة الي المحتجزات التي يصنعها البشر، وبما أن إمداد المياه الجوفية عادة ما يكون متوفراً عند النقطة التي يحتاج إليه فيها، فإن تكلفة النقل تنخفض بصورة كبيرة، أيضاً لأن المياه الجوفية يتم ترشيحها عن طريق الطبقات الجيولوجية الطبيعية، فإنها عادة ما تبدوا أكثر نقاء للناظر عند مقارنتها بالمياه السطحية (مكجي 1991). لهذه الأسباب فإن المياه الجوفية هي المصدر المفضل،بصورة عامة، لإمدادات المياه الصناعية والمدينية.

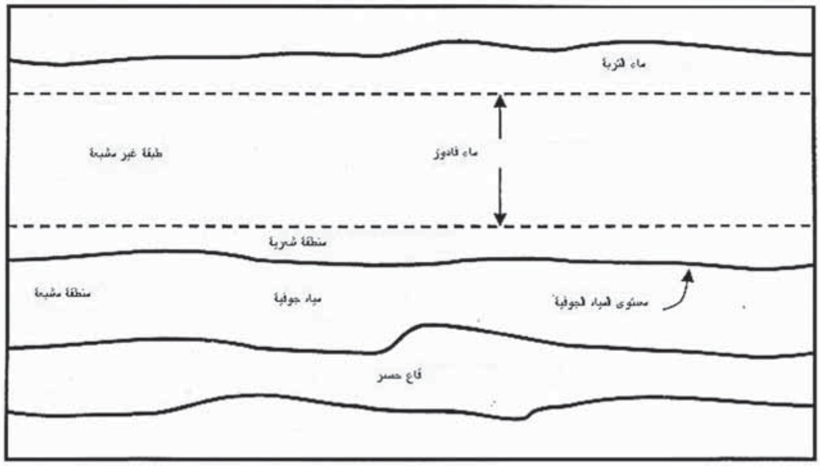
ومن ناحية تاريخية، ولأن المياه الجوفية أعتبرت صالحة للشرب، فإن عدداً من مرافق المياه كانت توصلها إلى زبائنها من دون معالجة. إلا أن إستخدام المياه الجوفية به بعض العيوب. تشمل هذه العيوب، إمكانية التلوث بالمواد السامة والخطرة على الصحة، التي تتسرب من منشآت معالجة النفايات، ومن المصادر الطبيعية، ومن مكبات الأوساخ، التي قد تغيب عن بال العامة والوكالات المنظمة. أيضاً يصعب، إن لم يكن من المستحيل، إعادة المياه الجوفية الى طبيعتها، ما أن تتلوث. أدت بعض الكشوفات الحديثة عن المياه

الجوفية الملوثة في بعض المناطق إلى إغلاق الآف من آبار مياه الشرب على إمتداد الولايات المتحدة.

مكامن المياه الجوفية Aquifers:

بإستخدام أبسط المصطلحات يحدث شحن الطبقة التحت سطحية بالماء الذي يصبح فيها بعد المياه الجوفية، حينما تتسرب المياه إلى أسفل من الأسطح المغمورة بمياه الامطار، وتغوص إلى مستوى معين، وتتجمع فوق طبقة غير منفذة، وتملأ كل المسامات، والشقوق في الأجزاء المنفذة. يسمي الخط الواقع أعلى هذه المنطقة المشبعة (saturated zone) بمستوي المياه الجوفية (groundwater table).

يوضح الشكل 16-11 أن نظام المياه الجوفية هو أكثر تعقيداً وتشابكاً بقليل من ما ذكر قبل قليل. توجد المياه الجوفية في مكامن المياه الجوفية غير المحصورة، في منطقتين إثنتين يتم التفريق بينهما على أساس ما إذا كانت المياه تملأ كل الشقوق والمساحات بين جسيمات التربة والصخور، أم لا. توجد المنطقة المشبعة على مقربة من سطح الأرض وتتميز بوجود شقوق تحتوي على كل من الهواء، والماء. تحتوي المنطقة غير المشبعة على الماء (ماء فادوز-Vadose water) الذي هو غير متوفر للإستخدام، بصورة أساسية.



الشكل 16-11 مكمن مياه جوفية غير محصور بمناطقه المشبعة والغير مشبعة. لكي يزال الماء من مستوى المياه الجوفية، ينبغي أن يخترق البئر المنطقة المشبعة.

حينما لا توجد طبقة غير منفذة فوق مكمن المياه جوفية فإنها تكون غير محصورة (unconfined) إنظر الشكل 16-11، الذي يوضح مكمن مياه جوفية غير محصور متموضع فوق قاع محصور). يتكون مكمن المياه الجوفية المحصور من طبقة حاملة للماء، تقع بين طبقتين أقل إنفاذاً. ينحصر إنسياب الماء في مكامن المياه الجوفية المحصورة في الحركة العمودية فقط. وعلى العكس من ذلك، تنساب المياه في مكمن المياه الجوفية غير المحصورة بحرية أكبر تشابه إنسيابها في قناة مفتوحة.

إنسياب المياه الجوفية Ground water flow

سواءاً أحدث إنسياب المياه الجوفية في هيئة الإنسياب المفتوح الشبيه بالقناة في مكامن المياه الجوفية غير المحصورة، أو حدث في الهيئة العمودية فقط (الشبيهة بالأنبوب) في مكامن المياه الجوفية المحصورة، أو حتى لحدوث أي إنسياب بالمرة، فإنه لابد من وجود تدرج هيدروليكي (hydraulic gradient)

لحدوث أي إنسياب.التدرج الهيدروليكي هو ببساطة الفرق بين الرأس الهيدروليكي مقسوماً على المسافة التي تمتد على طول مسار المائع المنساب.لأغراض هذا الكتاب، سيكون عليك أن تفهم أن المياه الجوفية تتحرك عبر مكمن المياه الجوفية، في إتجاه التدرج الهيدروليكي، بمعدل يتناسب طردياً مع الميل، وعكسياً مع إنفاذية مكمن المياه الجوفية. كلما إزداد إنحدار المنحنى، وكلما كانت الركيزة أكثر إنفاذاً إنساب الماء بسرعة أكثر. وعلى عكس الإعتقاد الشائع فإن المياه الجوفية لا تنساب كإنسياب النهر. بدلاً من ذلك فإنها تتخلل إلى أسفل متحركة من الإرتفاعات العالية إلى الإرتفاعات المنخفضة بمعدلات متفاوتة. وتتحرك المياه الجوفية ببطء أحياناً، وبسرعة مفاجئة في أحيان أخرى، من أقل من بوصة إلى عدة أقدام في اليوم.

إن مكامن المياه الجوفية مصادر مهمة للماء، وكما قلنا سابقاً فإنها مصدر الإمداد لجزء كبير من سكان الولايات المتحدة- وكل ساكني ريفها تقريباً. يستمر الطلب على إستخدام المياه الجوفية بالتزايد، ومع هذه الزيادة فإن جودة ونوعية هذا المصدر الضخم تتعرض للتهديد. وهنا يجب أن نتذكّر نقطتين مهمتين عن المياه الجوفية: ليس لدينا مصدر لا ينضب منها، ولا تنقي المياه الجوفية تماماً عندما تتخلل الأرض- إذ إنها ليست بمستثناة من التلوث السطحي. وسوف نناقش النقطة الثانية هذه بصورة أكثر اكتمالا في الفصل السابع عشر.

ملخص الفصل Chapter summary

يعمل الترابط البيني لمكونات الدورة المائية لمصلحتنا في عملية التنقية الذاتية، لكن مع وجود الملوثات الباقية، فإن هذه العملية الضرورية للدورة المائية يمكن أن تحتجز السموم، معقدة بذلك مجهودات تنظيفها. وبينما عملت العمليات

الطبيعية التي تنظف ماءنا في رحلته عبر الدورة المائية بصورة جيدة لقرون خلت، إلا أنه في بعض المواضع، أثقل الناس من الحمل على سعة التنقية الذاتية للدورة المائية. نحن ننظف الآن المشاكل التي أوجدتها إساءة إستعمال البيئة، والجهل في ما سبق. ولامناص من أننا سوف نوجد مشاكل سوف تضطر أجيال المستقبل لتنظيفها، بسبب المشاكل غير المنظورة للحلول التي نحاولها الآن – إلا أنه لا عذر لدينا في إعادة تكرار أخطاء الماضي. نظامنا المائي غالٍ جداً– وهو وفي الواقع لايقدر بثمن. لذا يتحتم علينا ان نتوقف عن تجاهل المخاطر التي يواجهها.

أسئلة ومسائل المناقشة

Questions and Problems،Discussion

1. إشرح التخثث.
2. إشرح عملية التنقية الذاتية في الجداول والأنهار.
3. إشرح عملية تحول البحيرة.
4. إشرح التطبق الحراري في البحيرات؟
5. إشرح الفروقات بين مكامن المياه الجوفية المحصورة وغير المحصورة ؟
6. إشرح تعاقب البركة؟
7. إذا حفرت بئراً في عقارك هل تتوقع ان تكون جودة مائه أقل أو افضل من ماء الصنبور؟

مواضيع ومشاريع ابحاث مقترحة
Suggested Research Topics and Projects

- تفحص دورة الماء كمظهر طاغي من مظاهر كوكب الارض.
- إستكشف الكيفية التي تؤثر بها الظروف البيئية المحلية على إمدادات المياه العذبة.
- تفحص الدورة المائية كمظهر لآلة الأرض الحرارية.
- إرسم خريطة لمجمع المياه المحلي.
- صنف نظام ماء راكد محلي من حيث: التخثث، والنواحي الكيميائية، والفيزيائية، والأحيائية، والمسكن، ومرحلته التطورية والمناطق ومن حيث الاستخدامات التي يوظفه فيها المجتمع.
- صنف نظام ماء جارٍ محلي من حيث: التخثث، والنواحي الكيميائية، والفيزيائية، والأحيائية، والمسكن، ومرحلته التطورية والمناطق ومن حيث الإستخدامات التي يوظفه فيها المجتمع.
- إستكشف أوجه الشبه والأختلافات ما بين البرك والبحيرات
- إجرِ بحثاً عن مشاكل تخص البحيرات، ذات علاقة بالفسفور.
- إجرِ بحثاً عن التطبق والتحول.
- إجرِ بحثاً عن عملية تعاقب البحيرة الطبيعية.
- طور تعريفاً موسعاً عن التخثث

- طور تعريفاً موسعاً عن النهر
- أنشئ نموذج تحليل لشبكة.
- تفحص عمر النهر.
- إجر بحثاً عن قوة الأنهار– سواء المستأنسة (السدود، على سبيل المثال) والغير مستأنسة (الفيضانات، على سبيل المثال)
- إجر بحثاً عن التبادل بين الماء واليابسة.
- تفحص الموئل وتكيّف الكائنات الحية مع منطقة التيارات السريعة.
- تفحص الموئل وتكيف الكائنات الحية مع منطقة الأحواض النهرية.
- إستكشف الأنشطة البشرية التي تؤثر على الجريان.
- إجر بحثاً عن جودة المياه وعملية التنقية الذاتية.
- إجرِ بحثاً عن المشاكل المرتبطة بالبحيرات، والتلوث، والتحول.
- تفحص الجودة السابقة لنظام نهري محلي، وكيف أثر ق م ن عليها؟
- تفحص الأثر البيئي للثورة الصناعية على أنظمة المياه وجودتها.
- تفحص الكائنات الحية المائية وموقعها من عملية التنقية الذاتية.
- إستكشف كيف تدخل المياه الجوفية من وإلى الأرض
- إجر بحثاً عن مصادر المياه الجوفية المحلية وجودتها.
- طور تعريفاً ممتداً عن المياه الجوفية.

المراجع المثبتة

Cited references

Amos, W. H. *Limnology: An Introduction to the Fresh Water Environment.* Chestertown, Md.: LaMotte Company, 1969.

Davis, M. L., and D. A. Cornwell. *Introduction to Environmental Engineering.* New York: McGraw-Hill, 1991.

EPA. "Surface Water Treatment Regulations." CFR, title 54, part 124, June 29, 1989, 27486.

Laws, E. A. *Aquatic Pollution: An Introductory Text.* New York: Wiley, 1993.

Masters, G. M. *Introduction to Environmental Engineering and Science.* Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1991.

McGhee, T. J. *Water Supply and Sewerage.* New York: McGraw-Hill, 1991.

NALCO. *The NALCO Water Handbook.* 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1988.

Odum, E. P. *Fundamentals of Ecology.* Philadelphia: Saunders College Publishing, 1971.

Smith, R. L. *Ecology and Field Biology.* New York: Harper & Row, 1974.

Spellman, F. R. *Stream Ecology and Self-Purification: An Introduction for Wastewater and Water Specialists.* Lancaster, Pa.: Technomic Publishing Company, 1996.

Tchobanoglous, G., and E. D. Schroeder. *Water Quality.* Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1987.

Watson, L. *The Water Planet: Celebration of the Wonder of Water.* New York: Crown Publishers, Inc., 1988.

Wetzel, R. G. *Limnology.* New York: Harcourt Brace Jovanovich, 1983.

مراجع مقترحة

(Suggested references)

AWWA Manual M21. *Groundwater.* Denver, Colo.: American Water Works Association, 1989.

Bensen, M. A. *Factors Influencing the Occurrence of Floods in a Humid Region of Diverse Terrain.* U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1580-B, 1962.

Berner, E. K., and R. A. Berner. *The Global Water Cycle, Geochemistry and Environment.* Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1987.

Cooper, M. H. "World Simmers over Water." *San Francisco Examiner,* January 14, 1996, 48.

Egna, H., and C. Boyd. *Dynamics of Pond Aquaculture.* Boca Raton, Fla.: CRC/Lewis Publishers, 1997.

Emerson, H. W. "Channelization: A Case Study." *Science* 173 (1971): 325–26.

EPA. "Ambient Water Quality Criterion for Dissolved Oxygen." *Federal Register* 50, no. 76 (1985).

Horne, A. J., and C. R. Goldman. *Limnology.* 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1994.

Laenen, A., and D. A. Dunnette. *River Quality: Dynamics and Restoration.* Boca Raton, Fla.: CRC/Lewis Publishers, 1997.

Leopold, L. B. *Water, Rivers and Creeks.* Sausalito, Calif.: University Science Books, 1997.

Outwater, A. *Water: A Natural History.* New York: Basic, 1996.

Postel, S. "Where Have All the Rivers Gone?" *World Watch* 8, no. 3 (1995): 9–19.

Rogers, P. "The Future of Water." *The Atlantic* (July 1983): 80.

Thomann, R. V., and J. A. Mueller. *Principles of Surface Water Quality Modeling and Control.* New York: Harper & Row, 1987.

U.S. Geological Survey. *Estimated Use of Water in the United States, 1980.* Washington, D.C.: Department of the Interior, 1984.

White, G. F., and M. F. Myers. *Coping with the Flood: The Next Phase.* Water Resources Update issue 95, 1994.

Willis, R., and W. W-G. Yeh. *Groundwater Systems Planning & Management.* Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1987.

World Resources Institute. *World Resources 1994–1995.* New York: Oxford University Press, 1994.

الفصل السابع عشر

تلوث الماء
Water Pollution

"أمَا كفى بعضكُم أنْ يرعى المرعى الصَّالحَ حتى يدوسَ برجلَيهِ باقي مراعِيكُم، وأنْ يشرَبَ المياهَ الصَّافيةَ حتى يُكدِّرَها برجلَيهِ؟"

حزقيال 34:18

أهداف الفصل Chapter objectives

بعد دراسة هذا الفصل ينبغي ان تكون قادراً على أن:

- تُعرِّف وتحدد المصادر المهمة لملوثات الماء.
- تميز ما بين ملوثات نقطة المصدر (الملوثات النقطية) والملوثات من غير نقطة المصدر (الملوثات غير النقطية)، وأن تصف إختلافاتهما.
- تناقش المصادر الصناعية الشائعة لتلوث المياه، والأشكال التي تأخذها.
- تناقش المشاكل المرتبطة بالتخلص من النفايات الصلبة.
- تصف نتائج الدمار البيئي والملوثات التي تنتجها عمليات التعدين.
- تناقش الملوثات الشائعة التي يمكن للممارسات الزراعية أن تنتجها، وتصف تأثيراتها.
- تُعرِّف المطر الحمضي، وتناقش أثر المطر الحمضي على أجسام المياه السطحية.

- تصف الأخطار المحتملة على إمدادنا من المياه الجوفية التي تسببها ملوثات السطح، وتناقش المشاكل ذات الصلة بالأراضي الرطبة.

Chapter outline خطة الفصل

تَعريف : تلوث المياه

تَعريف ووصف: التلوث النقطي والتلوث غير النقطي.

تَعريف ووصف: المصادر الصناعية لتلوث الماء، التراكم الحيوي، والتلوث الحراري.

تَعريف ووصف: التخلص من النفايات الخطرة.

تَعريف ومناقشة: الملوثات المرتبطة بعمليات التعدين.

تَعريف ومناقشة: الملوثات المرتبطة بالممارسات الزراعية.

مناقشة: آثار الترسبات الحمضية

مناقشة تلوث المياه الجوفية وتلوث حوض التجفيف.

Key terms المصطلحات الرئيسية

(acid rain)	المطر الحمضي	(acid mine drainage)	تجفيف المنجم الحمضي
(Animal wastes)	فضلات حيوانية	(agricultural sources)	مصادر زراعية
(fertilizers)	مخصبات	(bioaccumulation)	التراكم الحيوي
(hazardous wastes tream)	تيار نفايات خطرة	(graund water)	المياه الجوفية
(nitrates)	النترات	(irrigation)	الرى
(pesticides)	مبيدات	(nonpoint source)	مصدر غير نقطي

		الآفات	
الفوسفات	(phosphates)	مصدر نقطي	(Point source)
التلوث الحراري	(thermal pollution)	ملوثات الماء	(water pollutants)
تلوث الماء.	(water pollution)		

مقدمة

مالم تسبح في جسم مائي يجدر وصفه ببالوعة قاذورات، أو تشرب من ماء تفوح منه رائحة كريهة، وله مذاق اشد سوءاً، ويجعلك في النهاية مريضاً، فإنك ربما تعتقد أن تلوث الماء أمر نسبي، وتجده صعب التَعريف. وما أن تخلص إلى هذا التَعريف (الذي ربما كان ذو صلة ما مع الخصائص الفيزيائية والتأثير السلبي)، حتى تضع (ربما) في إعتبارك فكرة أن تلوث المياه العذبة ليس بالظاهرة الجديدة . فقط، كون تلوث المياه العذبة مصدر قلق عام هو الجديد نسبياً.

إن الأشكال الطبيعية من الملوثات تكون غالباً موجودة في المياه السطحية. وكثير من الملوثات التي ناقشناها في الفصول السابقة كانت غسلت أو ترسبت من الهواء، ثم جرفت من أسطح اليابسة، وتسربت من التربة، لكي تجد طريقها في النهاية، إلى أجسام المياه السطحية، قبل زمن طويل من دبيب الإنسان على الأرض. وبعد كل شيء، فإن الفيضانات والحيوانات الميتة تلوث، إلا أن تأثيرها يكون موقعياً، وعادة ما يكون قصير الأمد. وقد ساهمت الكوارث الطبيعية في زمن ما قبل التاريخ، وحتى في العصور الحديثة، في تلوث المياه السطحية. وكذلك، ساهمت الأحداث المفجعة من زلازل وانفجارات بركانية، وإرتطامات المذنبات، والإنتقال من عصر جليدي لعصر مطري وسيط، ثم إلى

عصر جليدي آخر، ساهمت جميعها في تلوث المياه السطحية. وإستطاعت عمليات التنقية الطبيعية – عبر الزمن– أن تنظف أجسام المياه السطحية ذاتياً. ولولا عملية التنقية الذاتية هذه لما أستطاعات الحياة المعتمدة على الماء على كوكبنا الأرض أن تتطور بالشكل الذي تطورت به بيفي (Peavy)، ورووي (Rowe)، وتكوبا نوغلوص (Tchobanoglous) 1985.

لأغراض مبحثنا في هذا الكتاب، نعرّف تلوث الماء (water pollution) بأنه وجود مواد غير مرغوبة في الماء بمستويات تفوق تلك المقبولة من ناحية صحية، أو جمالية. قد تشمل ملوثات المياه(water pollutants) المواد العضوية (حية أو ميته)، والمعادن الثقيلة، والمعادن، والرسوبيات، والبكتريا، والفيروسات، والسموم الكيميائية، والمواد العضوية المتطايرة. ونناقش في هذا الفصل مصادر التلوث المائية، سواء كانت المصادر النقطية، أو المصادر غير النقطية، والتي تشمل المصادر الصناعية، وكذلك التخلص من النفايات الخطيرة، وتجفيف ماء المناجم الحمضي، والمصادر الزراعية والمطر الحمضي. كما سنناقش أيضاً تلوث المياه الجوفية. وفي الختام سوف نعالج مصدر القلق الأساسي من التلوث المائي والآثار الصحية المترتبة عليه.

دراسة حالة 17-1 (Case Study)

مشروع تجديد غدير دونيقال، بمحافظة لانكستر، مشاريع التحكم في التلوث غير النقطي، هيئة الحفاظ على مستجمعات المياه، مصلحة الحفاظ على البيئة ببنسلفانيا.

Donegal Creek Restoration Project, Lancaster County, Pennsylvania DEP Bureau of watershed Conservation Non Point Pollution Control Projects

تستصلح كلاً من مقاطعة الاصلاح في محافظة لانكستر وإتحاد الأسماك والحفاظ في دونيقال غدير دونيقال، والذي هو جدول كلسي لأسماك السلمون

يغذيه ينبوع، في الشمال الغربي من محافظة لانكستر. يبلغ طول المنطقة المستهدفة في المشروع 6.67 ميلاً من رواق الجدول المليئ بالمغذيات وبالرسوبيات، والذي يبدأ عند منابع الفرع الشرقي والغربي، ويتجه ناحية المصب حتى ملتقاه مع غدير جيكيس (Chickies). ويستهدف في هذا المشروع مالكي الأراضي الخاصة (23 مالك)، يشمل ذلك 14 من مراعي الماشية التي تتضمن 4.7 ميلاً من الجدول، ولعدد متنوع من الممارسات الأفضل، التي تشمل تسوير ضفة النهر، والمعابر الحجرية للماشية، وإعادة تأسيس الشرائط العازلة للحياة النباتية الأصلية، تثبيت ضفة الجدول بإستخدام الهندسة الحيوية، والمتاريس الصخرية، والعاكسات، وبنى وتعزيز مساكن الأسماك بإستخدام المواد الطبيعية. ويشمل العمل العينى معظم الشغل والصيانة إضافةً إلى مراقبة جودة المياه واللا فقاريات الدقيقة من أجل توثيق التحسن (مصلحة الحفاظ على البيئة ببنسلفانيا، هيئة الحفاظ على مستجمعات المياه ببنسلفانيا، 14 أبريل، 1997).

المرجع (Reference)

Pa. DEP Lancaster County Non-Point Pollution Control Projects, www.cacdep.state.pa.us/dep/counties/Lancaster/Non-Point.htm

التلوث النقطي والتلوث غير النقطي

Point and nonpoint source pollution

أسس علماء البيئة طرقاً للتفريق بين تلوث المياه ذي المصدر النقطى، والآخر ذي المصدر غير النقطى، بسبب الحاجة للتحكم في مصادر تلوث المياه وتنظيمها.

المصدر النقطي (point source) (الذي يسهل التُعرّف عليه عادة) يفرغ التلوث (أو أي مادة داخلة أخرى) من مصدر أو نقطة محددة يمكن التُعرِّف عليها. فالأنابيب التي تفرغ النفايات في الجداول، والمداخن التي تبث الدخان والأبخرة إلى الهواء هي مصادر نقطية للتلوث. الصناعات، والمنشآت التي

تعرف كمصادر نقطية تشمل عادة، مصانع، ومنشآت القوة الكهربائية، ومنشآت معالجة مياه المجاري، ومزارع المصانع (factory farms)، ومناجم الفحم. وآبار النفط البرية، وأحواض النفط.

أما مصدر التلوث غير النقطي(nonpoint source) (الذي يصعب التُعرِّف عليه) فلا يمكن ارجاعة الى مصدر واحد محدد، وبدلاً عن ذلك، يأتي هذا التلوث من مصادر متعددة تقع على إمتداد المنطقة، وتشمل الجريانات الداخلية الى المياه السطحية، والتسرب من أراضي المحاصيل إلى المياه الجوفية، ومعالف المواشي، والغابات المقطوعة، ومناطق التشييد العمراني، والطرق، ومواقف السيارات. والأراضي الحضرية ودون الحضرية. وبسبب صعوبة التعرّف على مصدر التلوث غير النقطي بالمقارنة مع التلوث النقطي، فان التلوث ذا المنشأ غير النقطي يصعب التحكم به تبعاً لذلك.

دراسة الحالة 17-2 (Case Study)

تفريغ غير مشرف

(Dishonarable discharge)

التلوث المسمم لمياه أمريكا

(Toxic pollution of America's waters)

جدول 17-1 أكثر المياه تلوثاً. مياه الولايات المتحدة التي تتلقي أكبر الكميات من التلوث المسمم (1990 إلى 1994).

الر تبة	النهر/الجسم المائي	الولايات التي بها تفريغات سامة تساهم في تلوث المياه	إجمالي المواد السامة المفرغة بصورة مباشرة في الماء بالرطل (1994-1990)
1	نهر المسيسبي	تينيسي،اركنساس،لويزيانا،مونتانا،ايلنوي،مينسوتا،و يسكونسن،ايوا،	702 ,96 ,48

		كنتاكي،ميسيسبي	
2	المجيط الهادئ	اوريجن،هاواي، كاليفورنيا	35 ,95 ,08
3	نهر اوهايو	ايلنوي،انديانا،اوهايو ،كنتاكي، فيرجينيا الغربية،بنسلفانيا	22 ,72 ,91
4	نهر تنيسي	كنتاكي،تينيسي،الاباما	22 ,31 ,43
5	قناة هيوستون للسفن	تكساس	18 ,35 ,38
6	خليج وورد	الاسكا	14 ,61 ,69
7	نهر سافانا	جورجيا،كارولينا الجنوبية	13 ,68 ,65
8	نهر ديلاوير	ديلاوير ،بنسلفانيا ،نيوجيرسي	13 ,29 ,48
9	نهر التايمز	كونيتيكيت	13 ,12 ,39
10	مرفأ غري	واشنطن	10 ,40 ,95
11	نهر روك	ايلنوي، ويسكونسن	8 ,65 ,69
12	مضيق خوان دي فوكا	واشنطن	7 ,99.23
13	نهر اميليا	فلوريدا	7 ,61 ,70
14	نهر غرافيلي	فيرجينا	6 ,30 ,09
15	نهر كالكاسيو	لويزيانا	5 ,27 ,08
16	نهر اوشيتا	اركنساس،لويزيانا	4 ,25 ,33
17	نهر موبايل	الاباما	4 ,27 ,55
18	نهر كولومبيا	واشنطن،اوريجون	4 ,68 ,87
19	نهر هولستون	تينيسي	4 ,98 ,40
20	نهر جينسي	نيو يورك	3 ,72 ,33
21	نهر كانساس	كانساس	3 ,20 ,65
22	خليج مارتينس	ميسيسبي	3 ,39 ,65
23	قنال مرفأ انديانا للسفن	انديانا	2 ,78 ,38
24	نهر برازوس	تكساس	2 ,42 ,30
25	نهر كويهوجا	اوهايو	2 ,27 ,63
26	نهر باتبسكو	ميريلاند	2 ,29 ,23
27	نهر كاناوا	فيرجينيا الغربية	2 ,20 ,10
28	نهر سسكوانا	بنسلفانيا ونيو يورك	2 ,44 ,39
29	نهر كوينباك	كونيتيكيت	2 ,05 ,84
30	نهر فينهولوي	فلوريدا	1 ,96 ,69
31	نهر سيدار	ايوا	1 ,81 ,03
32	مرفأ ايفيريت	واشنطن	1 ,49 ,50
33	نهر هدسون	نيوجيرسي،نيويورك	1 ,29 ,84
34	نهر ميسوري	نبراسكا.كانساس،مونتانا،داكوتا الشمالية،ايوا	1 ,27 ,59
35	نهر نيشيز	تكساس	1 ,45 ,07
36	نهر الاباما	الاباما	1 ,13 ,09
37	خليج ايسكامبيا	فلوريدا	1 ,68 ,22

38	نهر ويسكونسون	ويسكونسن	1 ,53 ,52
39	نهر واباش	ايلنوي.،انديانا،اوهايو	1 ,32 ,08
40	نهر بلاك ووتر	فيرجينيا	1 ,88 ,46
41	نهر ديترويت	ميتشيجان	1 ,49 ,50
42	خليج ليتل اتابولغاس	جورجيا	1 ,31 ,83
43	نهر اندروسكوجين	مين،نيوهامبشير	1 ,88 ,33
44	نهر ايسكاتبوا	ميسيسبي	1 ,58 ,48
45	نهر بيجون	كارولينا الشمالية	1 ,25 ,23
46	مدخل كوك	الاسكا	1 ,22 ,40
47	نهر كيب فير	كارولينا الشمالية	1 ,19 ,53
48	نهر ديس مونيز	ايوا	1 ,70 ,04
49	نهر تومبيغبي	ميسيسيبي،الاباما	1 ,10 ,71
50	نهر ويلاميت	اوريجن	1 ,02 ,37

مجموعة العمل البيئية، تم جمعه بواسطة وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة، سجل الاصدارات المسممة 1990–1994 .

المصادر الصناعية لتلوث المياه

(Industrial sources of water pollution)

ظل التخلص من النفايات الصناعية الضارة برميها في الأنهار والجداول ممارسة صناعية شائعة لعدد من السنين، وتشكل هذه الممارسة واحدة من أكثر أشكال تلوث المياه جدية. في الماضي، كانت الملوثات الصناعية تُرمى في الأنهار والجداول بكميات أصغر، وكان إنسياب الجداول كافياً لكي يخفف من هذه النفايات، وحملها بعيداً، من دون أن يسبب ذلك سوى دمار بيئي طفيف. لكن مع تزايد الصناعة، وعدد السكان، أضحت إنسيابات الجداول غير قادرة على معالجة حمل النفايات، وأصبح التلوث الصناعي جدياً.

الصناعة هي أكبر مستخدم للمياه في الولايات المتحدة، مع وجود 250,000 صناعة تقريباً تستخدم اكثر من 260 مليار جالون من الماء في كل يوم. وتعد الصناعات الكيميائية والبلاستيكية أضخم مصادر التلوث الكيميائي السام في أمريكا. تليها صناعة الحديد والفولاذ، وتشطيب المعادن. وتشمل المصادر

الكبيرة الأخرى للملوثات مسابك المعادن، ومصافي البترول، وصناعة اللب والورق.

توفر الإنسكابات (spills) واحدة من أكثر مصادر التلوث الصناعي إثارة للمشاكل. تعتبر الإنسكابات النفطية، وإنسكابات المواد الكيميائية مثيرة للمشاكل بصورة خاصة، لأنه لايمكن أبداً أن تتم إزالتها، أو تنظيفها بصورة كاملة. ضع في الإعتبار،على سبيل المثال، النفط الذي يتشتت بمسارات متعددة على إمتداد سطح جسم مائي كبير (بحيرة، على سبيل المثال). وأن النسبة الأكبر للتلوّث تتمثل بالجزء غير الذائب، الذي يكون أخف من الماء، وينتشر بصورة تدريجية، ويضعف قوامه ليشكل طبقة زيتية، تنتشر في إتساع متزايد لانهائي. على سطح الماء، تبدأ 30 % تقريباً من مكونات الزيت الخام في التبخر مباشرة إلى الجو. في المناطق التي تتعرض لفعل الرياح المسبب لإنتاج الموجات يتم خفق النفط في شكل مستحلب مع الماء. فإذا حدث الإنسكاب بالقرب من شاطي بحيرة فإن الريح والأمواج تنقل النفط إلى مناطق الترويح الشاطئية، والتي تصبح مغطاة به . تفكك البكتيريا جزءاً من المستحلب. والجزء الذي لا تفككه يتجمع ليكون كرات قطران طافية. هذا ويغوص النفط الخام، الذي يكون أثقل من الماء، إلى أسفل حيث يغطي، ويقتل الكائنات الحية الموجودة هناك.

لسوء الحظ، فإن مثل هذه التفريغات السامة شائعة جداً، إذ يحدث في الولايات المتحدة وحدها 20 إنسكاب نفطي رئيسي في كل عام. ويسجل سيلمان وآخرون (2001) أن دراسة حديثة أجريت من قبل وكالة حماية البيئة (EPA) في الولايات المتحدة، وثقت عشرة آلف حادثة تقريباً تضمنت انسكاب موادٍ خطيرة مابين العام 1980والعام 1993.

هناك ملوثات كيميائية بعينها تمثل مهددات بيئية شديدة الخطورة، لأنها تتراكم حيوياً عبر الشبكات الغذائية – وهو أمر جدي. تمرر المواد المسمة الباقية، مثلها مثل المغذيات، من مستوى غذائي إلى مستوى آخر يليه. وإذا لم يتم

إخراج هذه المواد، أو تفكيكها، من قبل الكائنات الحية فإنها تظل في أنسجة هذه الكائنات . واذا إستمر الكائن الحي في ابتلاع المواد الملوثة، فإن التراكيز الكيميائية ترتفع، ويتم تمريرها إلى المستوى الغذائي التالي، حيث يبتلع ذلك الكائن الحي ذاته من قبل كائن آخر. وبهذه الطريقة تدخل الملوثات إلى السلاسل الغذائية وتصبح ذات تركيز أكبر وأشد خطورة في الوقت الذي تصل فيه إلى أعلى المستويات الغذائية. ونتيجة لذلك، فإن الكائنات الحية التي تتغذي في أعلى المستويات الغذائية تكون معرضة للجرعات الأعلى من المواد السامة . وفي الشبكات المائية، التي تتكون عادة من أربعة إلى ستة مستويات غذائية يكون أثر التراكم الحيوي أكثر وضوحاً. ويتعرض كائن المستوى الغذائي الأرفع- بنو البشر- إلى خطر ابتلاع أكبر تركيزات المواد المسممة.

كذلك، يحدث شكل آخر من اشكال التلوث الصناعي هو التلوث الحراري لأن عدداً من الصناعات تستخدم الماء في عمليات التبريد. يحدث التلوث الحراري (thermal pollution)، حينما ترجع الصناعة الماء المسخن إلى مصدره. يتطلب توليد الكهرباء، على سبيل المثال، كميات هائلة من المياه لأغراض التبريد-. تسحب هذه المياه عادة من الأنهار الرئيسية والبحيرات الكبيرة ثم يتم، تدويرها عبر الماكينة الساخنة المولده للكهرباء.

تنتقل الحرارة عندئذٍ إلى الماء، رافعة من درجة حرارته. وحينما يتم تفريغ الماء المسخن في الجسم المائي، فإنه يمكن أن يؤثر بصورة سلبية بالغة على الأنظمة البيئية المائية، عن طريق جعل الكائنات الحية تستجيب بمعدلات تنفس مرتفعة، وفي الوقت ذاته تقلل درجات الحرارة المرتفعة من مستوى الأوكسجين الذائب، عن طريق تقليل ذوبانه في الماء.

دراسة حالة 17-3

(Case Study)

شرق وابرن، ماساشوستس

(East Woburn، Massachusetts)

في أواخر السبعينيات، وبدايات الثمانينيات من القرن الماضي وصل عدد من حالات تلوث البيئة الصناعي، إلى الوعي العام، وقادت بالفعل، إلى إنشاء قانون الدعم الفائق. ثلاث من أكثر هذه الحالات شهرةً،هي بالطبع، حادثة لوف كانال (Love Canal) بولاية نيويورك، حادثة تايم بيش (Time Beach) بولاية ميسوري، وحادثة وابرن (Woburn) بولاية ماساشوستس. وقد غيرت هذه الحوادث من الطريقة التي ينظر بها عامة الأمريكيين إلى الصناعة، وإلى حقوقهم البيئية، سواءاً كأفراد أو كمجتمعات.

ما الذي حدث في وابرن؟ في ربيع العام 1979، كشفت الإختبارات أن إثنين من الآبار (البئرين G وH) التي تزود مجتمع شرق وابرن بالمياه، كانت ملوثةً بمذيبات صناعية شديدة السمية. كان المجتمع يشكو بصورة رتيبة من طعم ورائحة الماء المستخرج من هذين البئرين، منذ أن وضعا قيد الاستخدام. وكان مكمن المياه الجوفية الذي تستقي منه البئران ماءهما هو المصدر المباشر لتلوثهما. وقد وجدت كذلك صلة بين السموم في الماء، والنسبة العالية بصورة غير إعتيادية من حالات سرطان الدم (اللوكيميا) في الأحياء التي زودت بالمياه من البئرين G وH. حينئذٍ استعدت المعارك القضائية التي تلت هذا الإكتشاف وهمها تحديد الجهة المسئولة عن تلويث المياه الجوفية. وهنا سجلت ثماني أسر من ساكني شرق وابرن شكاوي ضد 3 صناعات محلية.

دخلت شرق وابرن مرة أخرى إلى الرأي العام عن طريق الكتاب الأكثر مبيعاً والفلم السينمائي (بذات الأسم) المبني عليه، فعل مدني (Civil Action). القضية القانونية المعقدة، والمليئة بالمشاكل، والمآسي الموروثة في وضع فوضوي بامتياز (فقد انتهت 16 حالة من حالات الإصابة باللوكيميا الأربع والعشرين في وابرن، بالوفاة) وهذا أكثر مما يمكن أن يصدق رغم أننا نعرف بصورة جيدة كم هو ممكن الحدوث . لكن بالنسبة لنا، يبقى سؤال (غير ذلك الذي يخص نتيجة القضية القانونية، وماذا حدث لهذه العائلات)، ماذا حدث في هذا الموقع؟

غطى دان كينيدي (Dan Kennedy) (الذي يعمل حالياً في صحيفة بوسطن فينكس*Boston Phoenix)* القضية لصحيفة وابرن ديلي تايمز كرونكيل *Woburn Daily Times Chronicle*، من البداية إلى أن غادر ليعمل في صحيفة التايمز *Times* في العام 1989. وفي 24 ديسمبر 1993 نشرت مقالته (واقع سام) التي تفحَّص فيها تبعات القضية القانونية، والدعم الفائق، والصعوبات في عملية تنظيف الدمار البيئي بصورة عامة، على صفحات الفينكس.

تنظيف الموقعين في وابرن سوف يكلف اكثر من 100 مليون دولار – حوالي 50 مليون دولار لموقع بلكس الصناعي، ومابين 50 إلى 70 مليون دولار للبئرين HوG. كل هذه التكلفة تقريباً سوف تدفع من قبل المالكين الحالي، والسابق للعقار، اللذين تقدر وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة أنهما مسؤولان عن تسميم الأرض والماء...

إلا أن موقعي وابرن ماهما إلا جزء يسير من مستجمع مياه نهر أبرجونا، الذي يضم وابرن، وسبع مجتمعات أخرى من ويلمنجتون إلى مدفورد. ولقد ظلت هذه المنطقة منشأً للصناعة، لما يفوق القرن من الزمان. وهناك إجماع

متزايد على أن هذه المنطقة، محملة بالنقاط الساخنة السامة. وكثير منها، إن لم يكن معظمها، غير مكتشف بعد.

من أجل إعداد ذلك المقال، التقى كنيدي بجريتشن لاتوسكي (Gretchen Latowsky) (مديرة مجموعة (من أجل بيئة أكثر نظافة for a cleaner environment, face). وهي مجموعة مواطنين محليين)، عبرت عن شكوكها حيال إمكانية تنظيف النفايات السامة بالدرجة التي يودها أنصار البيئة.

هي لا ترى أي شيء بسيط في الأمر... حيال مشاكل النفايات السامة المتبقية في وابرن وفي باقي أنحاء الوطن. وهي تعتقد أن تنظيف مستجمع مياه أبرجونا بكامله سوف يكلف عدة مئات الملايين من الدولارات إضافة إلى مايفوق المائة مليون دولار انفقت سلفاً . وهي لا تعتقد أن الأمر يستحق كل ذلك .

"من دون أن نجد أنفسنا محصورين في حدود عقاراتنا"، تقول لاتوسكي، نحتاج إلى أن نتعرّف على المخاطر التي سوف تقع على المجتمع في المستقبل القريب والبعيد ونعتمد بعض الخيارات حول الطريقة التي نقلل أو نلغي بها تعرضنا لهذه المخاطر. ويحتمل كذلك أن المجتمع بحاجة إلى أن يقرر مقدارما يريد أن يدفعه . هل من الممكن أن نعالج هذا المدى من التلوث في مستجمع المياه، أو هل بمقدورنا أن نتخذ بعض القرارات حول الشئ الذي يسبب أعظم المخاطر ونعالجه.

كتب كينيدي في مقال آخر لاحق، نشر في صحيفة الفينكس (عدد 17-24 ديسمبر 1998) بعنوان (تركة سامة):

لا يفترض بك أن تمشي على المسار الترابي الذي يقود إلى مكان البئر G . لكنني سأفعل ذلك على أية حال، سالكاً طريقي عبر منطقة غابية حتى أصل إلى منطقة صغيرة خالية من الأشجار...

إنها ظهيرة جميلة، وكل ما يحيط بي هادئ إلى درجة أنك ربما إعتقدت أنك في محمية طبيعية. إلا أن المناظر قد تكون خادعة . هنا وهناك توجد أنابيب – آبار حفرت داخل المياه الجوفية من أجل إجراء إختبار التلوث. وعبر الطريق، وعلى الخمسة عشر هكتاراً، التي يتهم شليستمان مدبغة رايلي بتلويثها، تم نشر مجموعة ضخمة من الصخور، تنتشر بالقرب منها فتحات المجاري والمخاريط البرتغالية البراقة، التي هي جزء من مشروع التنظيف الذي، في كل الاحتمالات، سوف يأخذ عقوداً من الزمن ليكتمل.

هذا الوضع مثبط، أليس كذلك؟

إن المدى الضخم لدمار مستجمع المياه يحدث عن عدم توفير الصناعة للبيئة في منطقة وابرن، والذي يرجع إلى سنين خلت، ولا يتوقف، بالطبع، على هذه الصناعات الثلاث، في هذه الحالة. فهنالك مشاكل شبيهة بهذه، تمتد إلى مدى أقل أو أكثر، في معظم المناطق ذات النشاط الصناعي الطويل المدى. وبينما يصعب أن يكون إلقاء اللوم في حالات التلوث الذي حدث قبل أن نستبين التبعات، عادلاً أو منتجاً، إلا أن كثيراً من المشاكل حدثت بينما كانت الأطراف المسئوولة تُعرِّف أن لأفعالها إمكانية تعريض صحة وسلامة البشر والبيئة للمخاطر. فما الذي يفسر العقلية المسؤولة، على الأقل، عن أحدث حالات التلوث الصناعي . هل يحدث الأشخاص التنفيذيون في الشركات والصناعات والمشرفون عليها أنفسهم قائلين: "ما أفعله هنا لن يسبب ضرراً بدرجة كافية تجعله ذا تأثير؟ لن يحدث هذا أي فرق يذكر؟"

التبعات الانسانية للتلوث البيئي يمكن أن تكون مدمرةً. وفي حالة وابرن، يجعلنا عدم التيقن من الإثبات المطلق، والتكلفة الباهظة لعملية التقاضي، والعجرفة المفزعة، والمراوغة من جانب الصناعات المتورطة في القضية، مدركين جداً أن الحقيقة والعدالة مفهومين نسبيين، وأن ما هو صحيح ليس في العادة جزءاً من ماهو قانوني. الفرق بين القانونية والعدالة، والفرق بين الحقيقة والإثبات، والفرق

بين الواقع والإدراك، موجود دائماً . كم في العادة يكون لدينا إثبات محكم بنسبة 100%، عن أي شيء؟ وبالتعبيرات العلمية، فإن المطلقات تكون نادرة، ودائماً تؤثر المتغيرات على النتائج، ويجب دائماً وضع العوامل الأخرى في الإعتبار.

وبغض النظر عما إذا كان مفيداً أم لا، فإن رد الفعل البشري الطبيعي للتضرر هو الرغبة في سماع الإعتراف بالذنب على الملأ (أوعلى الأقل، الاعتراف بالمسئولية) والاعتذار العلني. إلا أنه وبالنسبة لكل شخص – فإن مثل هذا الإعتراف يكون خطيراً، ويفتح الباب أمام أفعال قانونية أكثر – الفرق ما بين النزاهة والعلاقات العامة.

غير أنه، وبالنسبة للطرف المتضرر، فإن الحاجة الطاغية هي أن يؤكد له على أن ما حدث "لن يتكرر مرة أخرى". فهل من الممكن أن يتكرر ما حدث ؟ بالطبع. حتى مع التشريعات الأكثر تشدداً، والقوانين المنظمة، وفرض القوانين، فإن فرصة التلوث نتيجة لحادث عرضي (أوغير قانوني بصورة متعمدة) تظل موجودة دائماً. نحن في حالة إختراع دائم لمركبات جديدة، ولعمليات جديدة، لا يمكن تحديد مدى سلامتها على المدى البعيد، قبل أن يتم إستخدامها.

هل حدثت مثل هذه الحادثة مرة أخرى؟ بالطبع. لنهر توم عنقود سرطاني في محافظة أوشن، بولاية نيوجيرسي، ولفينكس بولاية أريزونا عنقود سرطان ماريفيل. أيضاً توجد هناك منطقة جافني رود، بفير بانكس بولاية الآسكا، ومنطقة فريسنو – كلوفيس الحضرية، كل هذا على سبيل المثال لا الحصر.

كتب تشارلس. س. ريان (Charles. S. Ryan) في المقال التالي، المأخوذ من صحيفة الديلي تايمز كرونكل *Daily Times Chronicle*، عن شركة و.ر. جريس (W. R. Grace):

في العام 1982 حينما رفعت 8 أسر من منطقة وابرن قضية في المحكمة الفدرالية ضد و.ر. جريس، إستجابت الشركة بعنف، مصدرة بيانات إتهمت فيها الأسر بالكذب.

كانت إستجابة و.ر. جريس خاطئة بنسبة مائة في المائة، إلا أن هذه البيانات لم تسحب أبداً، ولم يصدر عنها إعتذار أبداً . أوه، أنا آسف، فقد أقر المحامي ستولر (Stoler)، كذلك "لقد إرتكبنا أخطاءً (غير محددة)". وأكثر من ذلك.

صحيح أن و.ر. جريس قامت بعدد من الخطوات منذ المحاكمة، من أجل تصحيح المشاكل التي ساهمت فيها في مكمن المياه الجوفية بشرق وابرن. وكانت معظم هذه الخطوات – بصورة جوهرية – تنفيذاً لأوامر الحكومة الفدرالية، إلا أن جريس لعقت جراحها، وواصلت مسيرها.

قدمت الشركة كذلك جوائز في معارض العلوم لطلاب المدرسة الثانوية العليا، وأقامت إحتفالات عشاء عيد الشكر للمسنين، كذلك قامت بإختبار عقار مجاور للكشف عن الملوثات.

لكن بقدر ما يعنيني الأمر، لم تصبح " واحدة من شركات وابرن الملتزمة".

أنا على يقين أن اندرسون وبقية العائلات الداخلة في هذه القضية كانوا متفقين معي في الرأي.

إذا كانت و.ر جريس تستحق إسمها[1] فإن مارك ستولر، سوف يأتي في رفقة المدير التنفيذي لجريس إلى وابرن، ويقفان على درج مجلس المدينة، ويفعلان شيئاً،تعلمت حتى الحكومة اليابانية أن تقوم به (حينما أعتذرت عن قصف بيرل هاربور).

سوف يعترفان بذنبهما التام في كل الأعمال الخاطئة للشركة، وسيتوقفان عن محاولة إعادة كتابة التاريخ لمصلحتها، ويعتذران.

سوف يعتذران عن التلوث.

وسوف يعتذران عن محاولة التستر التي تلته، والتي هي مستمرة إلى يومنا هذا.

وسوف يعتذران، بصورة مباشرة للعائلات المتأثرة، عن الأمراض وعن الوفيات.

---

[1] الذي يعني الكياسة والرحمة في اللغة الانجليزية

إنها مسألة شرف (صحيفة الديلي تايمز كرونكل – طبعة وابرن www.northshoreonline.com/woburn/grace.htm وابرن – ماساشوتس، الخامس من يناير 1999.)

التخلص من النفايات الخطرة
(Hazardous waste disposal)

لأن جزءاً صغيراً فقط من النفايات الصناعية تتم إعادة تدويره، أو إزالة سميته، أو تدميره، فان البقية يجب ان تذهب إلى مكان ما. لسوء الحظ، وفي كثير من الحالات، ينتهي بها الأمر في تيارات النفايات الخطرة (Hazardous wastestreams في أجسام المياه السطحية، والجوفية. يوجد في الولايات المتحدة وحدها، 80,000 موقع تخلص من النفايات. وينتج السواد الأعظم من جداول النفايات الصادرة من الأنشطة الصناعية، والمدينية، والزراعية، ومن أنشطة التعدين، ومن المحاليل الملحية المركزة التي تستخدم في إستخلاص النفط، والغاز. تدخل بعض الملوثات المسمة الأخرى إلى إمدادات المياه من المصادر غير النقطية للتلوث، ويشمل ذلك الجريان الناتج من أنشطة التعدين، والمزارع، والمناطق الحضرية. ويحمل الجريان الحضري من الشوارع، على سبيل المثال، المعادن الثقيلة (الكادميوم والرصاص) والملوثات الأخرى. تعتبر المواد الكيميائية التي تحتوي على السيانيد، والتي تستخدم في إزالة الجليد عن الشوارع، ومبيدات الأعشاب المستخدمة في الزراعة، تعتبر جميعها مصادر محتملة للتلوث (شركة كونسيرن 1998).

مياه صرف المناجم الحمضية
(Acid mine drainage)

ترتبط عادة تكاليف بيئية، وصحية، وبشرية بإستخلاص المعادن. فعمال المناجم معرضون لخطر الاصابة بالأمراض التي تسببها المواد التي يتعرضون

لها (مرض الرئة السوداء الذي يسببه غبار الفحم، على سبيل المثال). وعمال المناجم معرضون كذلك، لمخاطر إنهيار المناجم عليهم، وإلى الإنفجارات والحرائق التي تحدث تحت سطح الأرض، وهم معرضون أيضاً لمخاطر السلامة الأخرى. تشوش عمليات التعدين على التربة والغطاء النباتي من فوقها، الشيء الذي يؤثر سلباً على الأنظمة البيئية ويقلل من الإنتاجية، ويقود إلى جرف التربة. وتسبب عمليات التعدين كذلك، زيادة درجة ملوحة الجداول، والبحيرات، والأنهار عن طريق جرف التربة، يمكن أيضاً لإنتاجية الأرض أن تنقص أو أن تنخفض. وتقلل عمليات التعدين كذلك من جودة المياه المستخدمة فيها. وأخيراً، تنتج عمليات التعدين خبثاً ومياه صرف منجمية (mine drainage) يمكنها أن تلوث التربة والماء. وهذه التكلفة البيئية الأخيرة، هي محور هذا النقاش.

يمكن لعمليات التعدين التي تكشف عن ترسبات الفحم، والنحاس، والنيكل، والزنك، والرصاص أن تقود إلى تلوث المياه السطحية (والمياه الجوفية). وحينما يتم الكشف عن أي من هذه الخامات، فإنها تعرض للهواء . وبما أن هذه الخامات تحتوي على الكبريتيدات، فان إتحاد الهواء مع الكبريتيد يؤدي إلى أكسدته، وتحفز هذه العملية عادة بسلالات معينة من البكتريا. وحينما يتم ارتشاح الماء عبر هذه المعادن المؤكسدة فإنها تصبح أكثر حمضية (الماء + الكبريتات المؤكسدة = حمض الكبريتيك)، الذي يزيد بدوره من ذوبانية المعادن في الماء الذي يرشح عبر الرسوبات المهواة حديثاً ويمضي في هيئة جداول جريان إلى اسفل المنجم . لمثل هذا الماء عادة، مستويات مضرة من المعادن المسمة.

هذا التلوث الذي يعرف بصرف ماء المناجم الحمضي(acid mine drainage) يقتل الأسماك، ويشوش على دورات الحياة المائية الاعتيادية. يشير كويغ(Quigg ,1976) إلى أن الصرف الناتج من عمليات التعدين يلوث

عدة الآف من الأميال من الجداول في الولايات المتحدة، ويمكن توقع نمو صرف المناجم الحمضي مع إعتماد العالم المتزايد على الفحم كمصدر للطاقة.

دراسة حالة 17-4
(Case Study)
ماء صرف المناجم الحمضي ومنجم بيركلي
Acid mine drainage and Berkeley Pit

تسبب التفاعلات الكيميائية بين الصخور، والتربة، والماء تسرب المعادن من الصخور إلى التربة، والمياه السطحية، والمياه الجوفية . يمكن أن تتأثر مصادر المياه والتربة بشدة في المناطق ذات الكثافة المعدنية العالية، حيث تمر المياه فوق ترسبات الخام. إما بصورة طبيعية أو عبر عمليات تعدين الخامات في نهاية المطاف. وفي الواقع، يتم إكتشاف مواضع التعدين، أحياناً، عن طريق العلامات السطحية لصرف الصخور الحمضي الطبيعي. إن الأنشطة البشرية، التي تشمل التشييد، والبناء، وتشييد الطرق السريعة، وعمليات التعدين، وقلع الحجارة، وقطع ونقل الأخشاب، بإمكانها أن تزيد من مقدار المعادن التي يتم إطلاقها إلى التربة وإمدادات المياه.

بيوت (Butte)، بولاية مونتانا هي المكان الذي يوجد فيه منجم بيركلي، وهي بحيرة حمضية تحتوي على بقايا عمليات تعدين بنسب كبيرة، وهي كذلك جزء من أكبر مواقع الدعم الفائق في البلاد . منذ أن تم إغلاق مناجم النحاس في عام 1982، ظلت المياه من جدران الأديم الصخري على إمتداد 3500 ميل، أو مايقارب ذلك، في الأنفاق والأعمدة في المنجم القديم، تتفاعل مع المعادن والخامات التي تبقت (الزنك، والنحاس، والكادميوم، والرصاص، والزرنيخ، وحمض الكبريتيك، والماغنزيوم، ضمن أُخَر)، إلى درجة أنه لا بد لسلطات المدينة من أخذ معايير لمنع الطيور المائية من أن تحطّ على البركة. وفي

أواخر العام 1995، أزيلت جيف 342 أوزة ثلج كندية من المنجم، بعد أن ماتت محترقةً بالحمض من الخارج– نتيجة لشربها من ماء المنجم.

السكان قلقون من إمكانية حدوث الفيضانات. وهم، أيضاً، قلقون من أنواع الملوثات التي يمكن أن يحملها للرذاذ، والضباب المتولد من داخل المنجم، وهم قلقون، أيضاً، بصورة خاصة (كما هو حال مشرعيهم)، من المشكلة التي تُمثلها منجم بيركلي بالنسبة لعمليات المعالجة. يَحمل المنجم الذي يبلغ عرضه ميلاً واحداً تقريباً، وطوله 1.5 ميلاً، وعمقه 1200 قدماً مايقارب 26 مليار جالون من الماء السام، والذي يتزايد بإنتظام، بما يقارب 5-7 مليون جالون في اليوم، أو بمقدار قدم ارتفاعاً في الشهر. ولقد قدمت عمليات المعالجة التقليدية (الترسيب الكلسي مثلاً)، للمدينة إمكانية تكوين جبل من الأوحال السامة، بحجم بحيرة.

في الوقت الحالي، دفعت أسعار النحاس المرتفعة هيئة الموارد في مونتانا إلى إستئناف إستخلاص النحاس من مياه المنجم بمعدل إستخلاص يصل إلى 4,000,000 رطل من النحاس في كل شهر . إلا أن هذا الإستخلاص لم يكن ليصبح ممكناً، لولا وجود المضخات المنشأة سلفاً. وبالنسبة للأنواع الأخرى من معادن المنجم، فإن الشركات المحلية أدركت ان العملية الأنسب التي يمكن تنفيذها، هي بعد عدة سنين، على الأرجح، وليس الآن.

حل منجم بيركلي
(Berkeley Pit solution)

نقلاً عن فريتز ديلي *Fritz Daily*، أحدث قرار إتفاق تم التفاوض حوله بين شركة أتلانتيك ريشفيلد Atlantic Richfield (أركو Arco) ووكالة حماية البيئة (EPA) في الولايات المتحدة في مارس 2002، تغييرات جوهرية على سجل القرارات الأصلي الذي يخص منجم بيركلي، وذلك بتشجيعه إستخدام الترسيب الكلسي كطريقة مختارة التنظيف، السماح بإنشاء برك خبث في منطقة

معروفة بخبث كولورادو. كان هذا القرار حلاً بسيطاً – وهو الحل الأرخص، إلا أنه ليس بأي حال من الأحوال، الحل الأفضل.

ينتج الترسيب الكلسي أحجاماً ضخمة من الأوحال التي يتحتم تخزينها، وهذه مشكلة يتمخض عنها مشكلة أخرى بحجم مشكلة المنجم. فقد أنفقت وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة، ومصلحة الطاقة ما يربو على المائة مليون دولاراً في إجراء البحوث على التقنيات الجديدة، والمبتكرة وطرق إسترداد المصدر. ربما ينبغي، أن تستخدم لتنظيف مياه بيركلي. لكن الترسيب الكلسي رخيص نسبياً.

برك الخبث بمنطقة خبث كلورادو، هي مشكلة محتملة جدية أخرى. فإطلاق المياه الملوثة بكثافة بالزرنيخ، والمعادن الثقيلة في برك الترسيب غير المبطنة، والتي تقع في الجوار المباشر لغدير سيلفر بو (Silver Bow) عند منابع حوض نهر كولومبيا، كان بمثابة البحث عن المشاكل. ففي عام 2000، أنفقت "أركو" ملايين الدولارات على إزالة الخبث، وتنظيف خبث كلورادو، الذي أعادوا تلويثه مرة أخرى الآن*. وفي العامين 2000و2001، أنفقت ولاية مونتانا مايربو عن 100 مليون دولار على تنظيف أول ميلين من الغدير الملوث بشدة. إلا أن التسرب من برك الترسيب غير المبطنة، كان يقود إلى إعادة تلويث الغدير، وربما قاد إلى نفوق الأسماك.

نقلاً عن فرتز ديلي، فإن بناء منشأة على أرفع طراز، وضخ ومعالجة المياه، هو الحل الوحيد الممكن. ولكن يتوجب على أي تقنية ممكنة للمعالجة أن تقيم بدقة، ويتم إختبارها، للتأكد من أنها تستوفي متطلبات بعينها، وهذه المتطلبات تشمل:

1. يجب أن يوفر الحل مياهاً يمكن إستخدامها، ويفضل أن تكون مياه شرب.
2. يجب أن لا ينتج الحل مشكلةً أكبر من تلك التي يحاول حلها.

* الآن = 2004 (زمن نشر النسخة الأجنبية من هذا الكتاب)

3. يجب على الحل أن يعدن المياه، ويزيل الموارد القيمة، التي يمكن استخدامها لدفع تكلفة الضخ والمعالجة.

4. يجب أن لا تزيد التقنية من حجم المياه في منجم بيركلي، والتي ينبغي ان تظل تحت مستوى المياه الحرج، الذي أرسته وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة، بدرجة كبيرة وليس مستوى السلامة.

5. كل تقنية يتم تقييمها للمعالجة، يجب أن تتفق وعتبة إقتصادية تحدد من قبل وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة، ويجب أن تكون نتائج التقييم الاقتصادي عمليةً.

تم تقييم تكلفة الترسيب الكلسي بسبعة وأربعين مليون دولار على الأرجح، وهذا التقدير أقل بكثير من الواقع، بما قيمته عدة مئات من الملايين. وفي فترة عامين تم تقييم تكلفة تنظيف غدير سلفر بو بما يقل بنسبة تصل إلى 365% عن التكلفة الحقيقية.

6. يجب ان يضع الحل في الحسبان أن تنظيف الماء بهذه الطريقة هو،فقط، جزء من عملية التنظيف الكلية. والتي تشمل المناطق الأخرى الملوثة وذات الصلة بالمنجم، من مقالب للنفايات، وبرك الخبث، ووجه المنجم.

الإحصائيات الآتية عن منجم بيركلي تم جمعها بواسطة فريتز ديلي:

- " تم تجميد الضخ في منجم كيلي Kelly ببيوت في 22 أبريل 1982 (يوم الأرض)"
- "إرتفع مستوى الماء في مناجم بيوت الى ما يفوق 3098 قدماً، منذ أن تم تجميد الضخ. عمق الماء في منجم كيلي هو في الحقيقة 4187 قدماً، او ما يربو عن ¾ الميل."
- "عمق الماء في منجم بيركلي يبلغ الآن 936 قدماً."
- "يرتفع مستوى الماء في منجم بيركلي، حالياً بمعدل يقارب قدماً ونصف في الشهر."

- "حجم الماء المنساب إلى المنجم يقارب 3.5 مليون جالون من المياه الجوفية، و3.5 مليون جالون من المياه السطحية أو 7 الى 8 مليون جالون في اليوم."
- "حجم الماء في منجم بيركلي يقارب 36 مليار جالون. تحتوي بحيرة جورج تاون على 10.1 مليار جالون."
- "وصل مستوى الماء في منجم بيركلي الى نقطة تماس الأديم الصخري مع الطمي (نقطة تفريغ محتملة) على الجدار الجنوبي الشرقي في فبراير 2002."
- "الحجم الكلي للمياه الملوثة في الأديم الصخري في بيوت، ومكمن المياه الجوفية الطموي يفوق 70 مليار جالون."
- "يوجد ما يفوق 3500 ميل من الأنفاق أسفل بيوت."
- "يقع غدير سلفر بو على منابع حوض نهر كولومبيا."
- "فيضان منجم بيوت هو أضخم فيضان منجمي على الاطلاق حدث في العالم."
- "موقع الدعم الفائق لجدول سلفر بو هو الاضخم في الولايات المتحدة."
- "سجلت درجة الحرارة عند بوت في العالم 1989 عند 40- درجة فهرنهايت، إلا أن ماء منجم بيركلي لم يتجمد حينها. لم يتجمد الماء أيضاً في 1995، 1996، 1997، و1998، وتجمد في كل سنة بعد ذلك."
- "في 14 نوفمبر 1995، ماتت 342 أوزة ثلجية في منجم بيركلي، نتيجة لإ بتلاعها ماء بيركلي الحمضي."
- "في سبتمبر/أيلول من العام 1998، انهارت شريحة من الجدار الجنوبي الشرقي لمنجم بيركلي في المنجم. سقطت حوالي 1.3 مليون ياردة مكعبة من مواد الطمي في المنجم، زادت هذه من مستوى ماء المنجم بمقدار ثلاثة أقدام."

- "غدير "سلفر بو" يكتسب دفقاً، الأمر الذي يعني أن المصدر الرئيسي للماء هو المياه الجوفية. وسوف ينتهي المطاف بجدول "سلفر بو" ملوثاً، ومعاد التلويث، في حالة حدوث تفريغ من منجم بيركلي."
- "قيمة المعادن كما حسبت من قبل MSE:
- 1999 – 500 مليون دولار (تقريباً)
- 2020 – 800 مليون دولار (تقريباً)"
- "الماء في منجم بيركلي، كما هو مراقب عبر منجم كيلي. إرتفع 33.2 قدماً في 1990. وأرتفع الماء في منجم أنسليمو (Anselmo) 31.5قدماً. وإرتفع الماء في منجم بيلمونت (Belmont) 33.8 قدماً. وإرتفع الماء في منجم ستيورات (Stewart) 33.3 قدماً. وإرتفع الماء في منجم جرانايت ماونت (Granite Mountain) 34.1 قدماً . كما هو واضح، فإن كل المناجم، ومنجم بيركلي في إيست كامب (East Camp) مرتبطة مائياً."
- "وثائق هيئة المناجم في مونتانا، تشير إلى أن الماء في مكمن المياه الجوفية للأديم الصخري بجوار المنجم يرتفع بذات المعدل الذي يرتفع به الماء في المنجم."
- "يقع منجم بيركلي على قمة صدع قاري. ونقلاً عن مقالات منشورة في مونتانا ستاندرد *(Montana Standard)* ومجلة مونتانا *(Montana Magazine)*، فإن إحتمالية حدوث زلزال جدي في جنوب غربي مونتانا، هو أمرلا مفر منه ."
- "كانت التوقعات الأولية تقول إن المنجم سوف يمتلئ إلى سعته وتبدأ المياه في التدفق (من حوافها) في 24 عاماً . إلا أن التوقعات الآن تتفاوت بخصوص الفترة التي سوف يحدث فيها هذا التدفق. إلا أنه ومع حرف مسار مياه ثنية هورس شو (Horseshoe)، فإن التوقعات الحالية لوكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة، تقدر أن الوجه البيني بين الأديم

الصخري والطمي سوف يتم الوصول إليه في العام 2002، وسوف يتم الوصول إلى مستوى الماء الحرج في2025. قبل هذا الحرف عن المسار. كان ليوصل إلى هذه الارتفاعات في 2000 و2012، على الترتيب. تم تعليق حرف مسار بئر هورشوي في يونيو من العام 2000 نسبة لإغلاق منجم الشرق قاري (East Continental). ضاعف هذا التعليق من إنسياب المياه إلى المنجم، سوف يتم الوصول إلى هذه التواريخ في 2002 و2013 على الترتيب. في ديسمبر 1989 وثقت موارد مونتانا، المالك الحالي للمنجم، أن التوقعات الأساسية بمعدل الملء الأصلي كانت قريبة من ماهو مقدر."

- "في مارس من العام 2002 تم إجراء عدة تغيرات أساسية على سجل قرارات منجم بيركلي الأصلي . يسمح التغيير الأساسي، الذي صنع من دون أخذ رأي العامة، بإنشاء منشأة معالجة مياه ثنية هورس شو. مياه ثنية هورسيشو هي خليط من تسربات المقلب شديدة التلوث، والمياه السطحية . تُعرِّف طريقة المعالجة بالترسيب الكلسي، وتخلف وراءها أحجاماً ضخمة من أوحال الصرف، التي سوف يتم ترسيبها في المنجم، وبالتالي سوف تزيد من معدل ماء المنجم . ولايعود من الممكن تعدين الأوحال لإزالة الموارد القيمة، كما ينبغي تخزينها إلى الأبد."

References المراجع

Daily, Fritz. Berkeley Pit Solution. July 15, 2004. www.coppercity.com/FritzDaily/BerkeleySolution2002.htm

Daily, Fritz. Berkeley Pit Statistics. November 15, 2002. www.coppercity.com/FritzDaily/BerkeleyPitStatistics2002.htm

Woodbury, R. ''The Giant Cup of Poison: Can an Acid Pit Be Mined for Valuable Metals before It Rises Too High?'' *Time*, March 29, 1998.

المصادر الزراعية لتلوث المياه السطحية

(Agricultural sources of surface water pollution)

تلوث المياه السطحية من المصادر الزراعية العضوية وغير العضوية تسببه مبيدات الآفات، والمخصبات، والنفايات الحيوانية. تدخل كل هذه المواد إلى

الأجسام المائية عبر الجريان، وإمتصاص المياه الجوفية في مناطق النشاط الزراعي.

تشمل مبيدات الآفات (pesticide)، مبيدات الحشرات (insecticide)، ومبيدات الأعشاب (herbicide)، ومبيدات الفطريات (fungicide). الغرض من هذه المبيدات هو إبادة الأنواع النباتية، والحشرية غير المرغوب بها أجل حماية المحصول. بسبب الزيادة المضطردة في عدد سكان العالم، أضحت مبيدات الآفات أساسية لعملية انتاج الغذاء ومنتجات المحاصيل الأخرى لكي يتحصل على المنتوج الذي تتطلّبه تغذية الأعداد المتزايدة من السكان.

إن مبيدات الآفات الطبيعية يمكن تفكيكها حيوياً، ولذا فهي أقل ضرراً بالبيئة. ويمكن لمبيدات الآفات التي لايمكن تفكيكها حيوياً (DDT على سبيل المثال) أن تتراكم في البيئة، كما أنه ثبت ضررها على صحة الإنسان. حينما يبلغ التلوث بالمبيدات الحشرية تراكيز مقدرة في البيئات المائية، فإنها تمثل خطورة على صحة الكائنات الحية التي تقطن الجسم المائي، وعلى هؤلاء الذين يستخدمون هذه المياه كمصدر لمياه الشرب. على الرغم من أن مبيدات الآفات تباع عادة بغرض قتل آفة بعينها، إلا أنها عادة ما تقتل أنواعاً أخرى من غير الآفات، كما أن لها أثاراً جانبية على نمو وتكاثر الطيور والأسماك.

دراسة حالة 5-17
(Case Study)
نموذج مبدأ لوتكا – فولتيرا للفريسة – المفترس
The Lotka-Volterra Predator-Prey Principle

يمكن تقسيم الحشرات، مثلها مثل باقي المخلوقات الأخرى، إلى آكلات لحوم، وآكلات أعشاب، ولكل واحد من هذين الصنفين خصائصه المميزة. حيوانات المن (Aphids)، والخنافس اليابانية (Japanese Beetles)، واليساريع

(Caterpillars)، والجراد (Grasshoppers) هي فقط بعض من آكلات الأعشاب. بينما الدعسوقات Ladybugs، والعناكب(Spiders)، واليعاسيب التي تقتل زيز الحصاد (Cicada Killers) وأفراس النبي (Praying Mantis والذبابة المنشارية (Sawflies) هي بعض تلك التي تأكل الحشرات. تتكاثر آكلات الأعشاب بسرعة. بينما تتكاثر الحشرات المفترسة، كقاعدة عامة، ببطء أكثر، وبأعداد أقل من الحشرات الآكلة للأعشاب. وحينما تترك الأمور للطبيعة وحدها، فإن هذا النظام يوازن من نفسه بصورة جيدة، ولأن مفترساً حشرياً واحداً يأكل عدة آكلات أعشاب، تماماً كما تحتاج المفترسات من الثديات إمداداً وفيراً من الأرانب، والفئران لكي تستمر في حياتها، يتحتم على آكلات الاعشاب التكاثر بسرعة، وبكميات كبيرة لكي توازن الوضع .

نموذج لتوكا – فولتيرا للفريسة – المفترس
(Lotka – Volterra predator – prey model)

مع أن معادلات لوتكا – فولتيرا هي أبسط من ان تكون قابلة للتطبيق بصورة عملية من دون أن تجرى عليها تغييرات تعكس ظروفاً محددة، إلا أن هذا النموذج البسيط يعد نقطة بداية مثيرة للاهتمام . أن نموذج لوتكا – فولتيرا هذا، مبني على إفتراضين إثنين:

معدل ولادة (B1) المفترس (N1) يزيد بزيادة عدد الفرائس.

معدل موت (D2) الفريسة (N2) يزيد بزيادة أعداد المفترسات.

يستخدم النموذج معادلتين إثنتين . تحسب المعادلة (1) نمو عدد أفراد المفترس:

حيث B1 = معدل ولادة المفترس، و D1 = معدل موت المفترس.

من ناحية أخرى معدل ولادة الفريسة الفردي (B2) لايعتمد بصورة مباشرة على وفرة المفترس، إلا أن معدل موته يعتمد على ذلك. عليه، يكون معدل ولادة الفريسة (B2) ثابتاً.

تصف المعادلة 2 معدل نمو أعداد الفريسة:

$$dN2/dt= (B2-D2\ N1)N2 \qquad (2)$$

حيث (D2) = معدل موت الفريسة.

يعتمد معدل ولادة المفترس (B1) على الإمداد الغذائي (الفريسة) المتوفر، ولا يعتمد معدل وفاة (D1) المفترس (D1) على كثافة الفريسة.

وبطبيعة الحال، فإن الإفتراس ماهو إلا واحد من عدة عوامل تتسبب في دورات أعداد السكان. العوامل الأخرى المتضمنة فتشمل الهجرة الجماعية، والتوتر الفيسولوجي بسبب الإزدحام، والتغيرات الوراثية في أعداد السكان. ويصعب طبعاً الحصول على دورات إعداد سكان دقيقة، سواء في الحقل، أو في المختبر. وعادة ما تبحث المفترسات عن كل فريسة متاحة، ثم تنقرض بعد ذلك بسبب شح الغذاء.

كيفية عمل هذا المفهوم، هو شيء تود شركات مبيدات الآفات، أن لا يعرفه المزارعون، لأن مبدأ لتوكا – فولتيرا للمفترس – الفريسة بإمكانه أن يصف بدقة، كيف أن التوازنات الطبيعية يمكن أن تختل عندما تستخدم مبيدات الآفات الواسعة الطيف.

إستخدام مبيدات الآفات الواسعة الطيف، من أجل التحكم في دمار المحاصيل يزيد في واقع الأمر، من أعداد آكلات الأعشاب، ويفاقم من مشكلة الآفات. وتقتل مبيدات الآفات واسعة الطيف عادة كلا من الفرائس والمفترسات. فإذا كانت آكلات اللحوم وآكلات الأعشاب في حالة إتزان منذ البداية، وتم تسميمها إلى الدرجة نفسها، فإن الآفات التي تظل على قيد الحياة تكون لها الأفضلية بسبب تكاثرها السريع والوفير.

هذا وتقف الآفات على قدميها بسرعة. إلا أن المفترسات المتبقية تكون قد فقدت إمدادها الغذائي، لذلك تنضب أعدادها بصورة أكبر، في واقع الأمر. وما بين الرشات بالمبيدات يصبح الإتزان الذي أختل الآن، أكثر إختلالاً بكثير.

إذاً، ما هو الحل؟ يستخدم بعض المزارعين مواد عضوية وعضويات في عدد من التقنيات بدلاً من المبيدات. وهذه تتسبب بضرر أقل بكثير على البيئة، كما أنها تكون أقل تعدياً. فالزهور المخملية (Marigolds)، المغروسة حول قاعدة نباتات الطماطم، تقي الطماطم من الديدان الخيطية (Nematodes) . كذلك تتسبب بعض أنواع البكتيريا العضوية[2] التي ترش على نباتات الحديقة، في سوء هضم قاتل للديدان ذات القرون (Hornworms)ويساريع الكرنب (Cabbage Loopers) من دون أن تضر بالمفترسات المفيدة، ومن دون أن تضيف سموماً ينتهي بها المطاف مبلوعةً من قبل البشر. في بعض الأحيان تكون هذه الطرق أكثر إستهلاكاً للوقت، كما أنها تضيف للتكلفة، إلا أن السعر الإضافي، الذي لايمانع الناس في دفعه من أجل المنتجات العضوية، هو واحد من الإعتبارات المهمة. ولكن إحدى أكبر العقبات، في سبيل إستخدام هذه التقنيات، هو الخوف من المخاطر غير المحتملة، الخوف من عمل شيء مختلف عما اعتاد عليه المزارعون، والخوف من التغيير.

تستخدم المخصبات، مثلها مثل مبيدات الآفات، من أجل زيادة إنتاج الغذاء. ينتج تلوث المياه بسبب الزراعة، بصورة رئيسية، من الفوسفات، والنترات الموجودة في المخصبات التي تدخل إلى الإمداد المائي عن طريق جرف التربة العلوية وعن طريق الجريان. يمكن للنترات أن تكون سامة للإنسان، والحيوان، إذا كان تركيزها عالياً ويمكن إختزال النترات (nitrate) إلى النترايت (nitrite)، التي تتداخل مع عملية نقل الأكسجين عن طريق الهيموغلوبن في الدم. وتساهم كلٌّ من النترات والفوسفات في النمو المفرط للطحالب النباتية

[2] Bacillus thuringiensis

المجهرية في البحيرات، وهو الوضع الذي يؤثر على النظام البيئي المحلي (Euotrophication).

إن النفايات الحيوانية هي مصدر من مصادر تلوث المياه وذات مخاطر صحية محتملة. فمناطق التراكيز المرتفعة من النفايات مثل باحات الإسطبلات، والأراضي التي تمت معالجتها بالنفايات الحيوانية، ومعالف الماشية– هي مهدد رئيسي لإمدادات المياه، حينما يحملها الجريان إلى الجداول، والبحيرات، والأنهار. وتصبح مشكلة التخلص من النفايات الحيوانية أكبر بكثير حينما تربى الحيوانات في معالف الماشية.

لكي تكتسب إدراكاً لمدى الجدية التي يمكن أن تكون عليها مشكلة التخلص من النفايات في معالف الماشية، ضع في الإعتبار أن خدمة الحفاظ على التربة في الولايات المتحدة تشير إلى أنه، وبينما ينتج الأنسان 0.33 رطلاً من النفايات كل يوم، تنتج البقرة 52.0 رطلاً من النفايات في اليوم. ومنشأة معالجة مياه المجاري، قد يكون في مقدورها معالجة النفايات البشرية، إلا ان نفايات الابقار تظل غير معالجة.

في الماضي، كان للفضلات الحيوانية فائدة للمزارعين، ولغيرهم، لأنها كانت تستخدم كمخصبات. إلا أنه، عند مقارنتها بالمخصبات الكيميائية الحديثة، تكون فوائد تخصيب التربة بالنفايات الحيوانية غير كافية لتبرير تكلفة النقل والإستخدام. لذا، فإنه يتحتم على مالك الماشية أن يكافح إمداداً يومياً من النفايات الحيوانية، التي لا يمكن بيعها، أو حرقها، أو رميها بعيداً، والتي قد تسبب تلوث المياه. حينما تدخل مياه الجريان الملوثة بها إلى الأنهار، والجداول حاملة معها النترات والفوسفات والنشادر. فإن الكائنات المجهرية، والتي تحتاج الأوكسجين في هذه العملية، تقوم بتفكيك المادة العضوية. وكما أسلفنا، فإن للجداول إمكانية التنظيف الذاتي، إلا انه يمكنها معالجة درجة عالية من التلوث العضوي. الأمر الذي سوف يتسبب في مشاكل لمعظم الحياة المائية. أهم

التأثيرات لتلوث المياه من المصادر الزراعية على الإنسان، هو إمكانية اصابته بالأمراض المنقولة عن طريق الماء مثل الكوليرا، وحمي التيفويد، والدسنتاريا.

دراسة الحالة 17-6

(Case Study)

عمليات تغذية الحيوانات المركزة

Concentrated animal feeding operations

أدى تطور عمليات الزراعة من قبل الشركات (Corporate Farming) إلى إنشاء عمليات ضخمة للماشية_ ما يمكن أن نطلق عليه بصورة حرفية إسم مصانع للحيوانات– تنتج آلاف الحيوانات. تمثل عمليات تغذية الحيوانات المركزة (Concentrated Animal Feeding Operations-CAFOs) مهدداً للصحة العامة الوطنية، بسبب المشاكل التي تسببها في تلويث المياه، والهواء.

وفيما تكون مشاكل تلوث الهواء التي تسببها (ع ت ح م) أقل جدية من مشاكل تلويثها للماء، إلا أن (ع ت ح م) مساهم كبير جداً في إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون، وهي جزء من مشكلة التغير المناخي. تشمل مشاكل تلوث الهواء الأخرى التي تسببها (ع ت ح م) مشاكل التنفس، التي يسببها إستنشاق غبار الروث المحمول بواسطة الهواء، والإنتاج العرضي لكبريتيدات الهيدروجين، التي تنتقل إلى المناطق المجاورة، مؤثرةً على الناس في الجوار.

وإنّ إحدى أكبر مشاكل تلوث المياه المرتبطة بـ (CAFOs)، تخص التخلص من النفايات الحيوانية. عادة ماتخزن هذه العمليات، النفايات في بحيرات ضحلة (lagoons) . يساوي مخرج النفايات من عملية تؤوي 10,000 خنزير، تلك التي تنتجها مدينة يقطنها 25,000 شخص. إلا أن فضلات مثل هذه المدينة، يتحتم معالجتها، بينما القوانين المنظمة التي تخص النفايات الحيوانية هي أقل تشدداً، بكثير. ونتيجة ذلك هي إنسكابات الروث، ونفوق الأسماك، وما هو

أسوأ من ذلك، تسمم إمدادات المياه. وتكون المجتمعات الريفية الأكثر تضرراً بصورة خاصة. إذ تتأثر إمدادات مياه الصنبور في كثير من بلدات الشرق الجنوبي والوسط الغربي للولايات المتحدة. يحمل نهر المسيسبي في الوسط الغربي، حملاً ثقيلاً من التلوث الذي تسببه (AFOs) من الغرب الأوسط، وينتهي الأمر بهذه الملوثات في خليج المكسيك-والنتيجة منطقة خليجية ميتة بكبر حجم ولاية نيو جيرسي.

تركز (CAFOs) كميات هائلة من النفايات في مناطق صغيرة نسبياً. وفي الوقت الذي يوفر فيه النتروجين والفسفور من النفايات الحيوانية مخصباً مفيداً، حينما يتم إستخدام هذه النفايات بمستويات مناسبة، إلا أن الإستخدام المفرط لهذه النفايات على الأراضي، وإنسكابات الروث، والتسرب من البحيرات الضحلة، يطلق هذه المواد الكيميائية في البيئة، حيث يمكن أن تدخل إلى المياه الجوفية، والأنهار، والبحيرات وبالتالي تدخل إلى الإمداد المائي.

تقدم وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة، ومركز التحكم في الأمراض،واللجنة الزراعية للولايات المتحدة، الإحصاءات الآتية عن التلوث الذي تسببه (CAFOs):

- خلصت الإثنتان والعشرون ولاية، التي قسمت التلوث الزراعي إلى أنواع محددة، إلى أن النفايات الحيوية تلوث حوالى 35,000 ميل من الأنهار التي قاموا بتقييمها (وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة، مصلحة الزراعة في الولايات المتحدة 1998)
- الروث الحيواني هو مساهم بصورة أكبر من المصادر النقطية (أي التفريغات المدينية أو الصناعية) في مجموع النتروجين الموجود بالجداول، بمقدار 1802 (88 %) من ال2056 منفذ لمستجمعات المياه في الولايات المتحدة، إعتماداً على مجهودات نمذجة قامت بها

هيئة المسح الجيولوجي في الولايات المتحدة (وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة 1998).

- تسبب تلوث إمدادات المياه العامة بأحد أنواع البروتوزوا[3]، في اكثر من 100 حالة وفاة، وما يقدر بـ 403,000 حالة مرضية في ملووكي بولاية وسكنسون، بالولايات المتحدة في العام 1993. لم يتم التأكد من مصدر التلوث، إلا أن الجريان من روث الابقار هو المصدر المشتبه به (وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة 1998).
- في العام 1993 كشفت مصلحة الصحة بمحافظة لاغرانغ إنديانا عن مجموعة من النساء اللواتي يعشن بالقرب من مزرعة خنازير، واللواتي أجهضن بعد الشرب من ماء به نسبة عالية من النترات، من آبارهن الخاصة (مركز التحكم في الأمراض 1996)
- في ولايات أيوا، ومنيسوتا، وميسوري التي تمثل اكثر من 36% من عمليات إنتاج الخنازير، قتل 20 إنسكاب عضوي من مياه النهر ما لا يقل عن 00, 55 سمكة في العام 1992 . تضاعف عدد الإنسكابات بحلول العام 1996، ونتج عن ذلك 00, 670 سمكة ميتة (اللجنة الزراعية بمجلس الشيوخ في الولايات المتحدة 1997)
- قدرت الإدارة الوطنية للمحيطات والجو أن معالف الماشية قد ساهمت في إعاقة 110 من قيعان الأسماك الصدفية (Shellfish) في العام 1995 (وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة 1996).
- يرتبط إزدهار الكائنات الحية المصبية (estuarine) السامة، مثل السوطيات الدوارة[4] (Dinofalgellate) بالمصادر المفرطة بالمغذيات. ومنذ العام 1995 قتلت السوطية Pfisteria أكثرمن مليار

[3] Cryptospordium
[4] Pfiesteria Picicida من النوع

سمكة في مناطق المصبات، والمناطق الساحلية في كارولينا الشمالية، وروافد خليج جسبيك في ماري لاند وفرجينيا. وساهمت (CAFOs) بكميات كبيرة من النتروجين والفسفور الموجود في هذه المياه (وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة 1998).

- في العام 1995 وجدت دراسة أجرتها جامعة كارولينا الشمالية الولائية، تسرباً شديداً من النتروجين، من أكثر من نصف البحيرات الضحلة المدرجة في مسحهم (لجنة الزراعة بمجلس الشيوخ في الولايات المتحدة 1997)
- تعرضت 17 ولاية لتلوث المياه الجوفية بسبب معالف الماشية (وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة 1998).
- أوضحت دراسة بكارولينا الشمالية أن ما يقارب 1600 بئر من تلك التي تقع بجوار عمليات الخنازير، والدواجن أن 10 % من الآبار التي تم إختبارها وجدت ملوثة بكمية من النترات تزيد عن المسموح بها في معايير مياه الشرب، وأن 34 % من هذه الآبار بها بعض النترات (لجنة الزراعة بمجلس الشيوخ في الولايات المتحدة الامريكية 1997).

تتضرر مزارع الحيوانات والمجتمعات الريفية بشدة من (CAFOs). لا تستطيع المزارع الصغيرة أن تنافس بمفردها لأن التكاليف تكون باهظة جداً. تسوء أوضاع هذه المزارع، أو ينتهي بها المطاف في إتفاقيات تشغيل بالإجارة، تنقل عبء التخلص من النفايات بصورة منظمة إلى أكتاف صغار المزارعين. قيمة عقارات مالكي المنازل القريبة من مزرعة المصنع تتدنّى بشدة، كما تعاني الأعمال التجارية الصغيرة في البلدات القريبة، لأن (CAFOs) تشتري إمداداتها، بصورة عامة، من الممونين من أصحاب الشركات الضخمة.

تبدو فكرة أن تطالب مصانع الشركات، التي تنتج من النفايات الحيوانية ماتنتجه بلدة ما من النفايات البشرية، بأن تمتثل لذات البنود المنظمة للمنطقة المذكورة من قانون الماء النظيف Clean Water Act (CWA)، فكرة بديهية، إلا أنه وبما أن (CAFOs) فكرة حديثة نسبياً، وبسبب أن مصالح الشركات الزراعية التي تملكها لها نفوذ سياسي قوي، فإن وضع القوانين المنظمة لهذه الأعمال جاء بطيئاً، كذلك لا تستطيع وكالة حماية البيئة، ذات التمويل غير الكافي، أن تكون متابعة لما يحدث. كما أن انفاذ القوانين المنظمة الموجودة قد تم تعطيله في بعض الولايات.

يقدم نادي سييرا (Sierra Club) حلولاً معقولة لمشكلة تلوث المياه:

- تعليق العمل في جميع مزارع المصانع الجديدة، والمتوسعة، حتى تتحصل كل المنشأت الموجودة على رخص ق م ن، وحتى توضع القواعد الجديدة للتحكم في التلوث موضع التنفيذ.
- طالب مزارع المصانع بأن تتحصل على رخص ق م ن منفردة، وخاصة بكل موقع، تشمل الخطط الشاملة لإدارة المغذيات، لكي توفر حماية وطنية متسقة.
- إعط التفويض للمشاركة العامة في كل مناحي منح تراخيص ق م ن، وفرضه.
- إحظر بحيرات الروث الضحلة الجديدة، والرش الهوائي للفضلات السائلة، وتخلص تدريجياً من عمليات البحيرات الضحلة وحقول الرش الموجودة.
- ضع المسئولية القانونية، والمالية للتخلص من النفايات وتنظيفها على عاتق الشركات التي تمتلك الماشية.

www.sierraclub.org/factoryfarms/factsheets/water.asp
()

References المراجع

www.sierraclub.org/factoryfarms/faq.asp

www.sierraclub.org/factoryfarms/factsheets/water.asp

Centers for Disease Control. ''Spontaneous Abortions Possibly Related to Ingestion of Nitrate-Contaminated Well Water—LaGrange County, Indiana, 1991–1994.'' *Morbidity and Mortality Weekly Report* 45, no.26 (July 5, 1996).

EPA. Preliminary Data Summary. Feedlots Point Source Category Study, December 31, 1998.

EPA, and Department of Agriculture. Draft Unified National Strategy for Animal Feeding Operation, September 11, 1998.

U.S. Senate Committee on Agriculture, Nutrition, and Forestry. Report Compiled by the Minority Staff for Senator Tom Harkin. ''Animal Waste Pollution in America: An Emerging National Problem. Environmental Risks of Livestock & Poultry Production,'' December 1997.

المواقع ذات الصلة Related websites

مركز الشؤون الريفية: www.cfra.org

معلومات مزارع المصانع: www.factoryfarms.org

أسر ضد العبث الريفي: www.farmweb.org

رالي نيوس آند أوبسرفر_ الحائزة على جائزة بوليتزرسلسلة " الخنزير الرئيس":
cgi2.nando.net/sproject/hogs/hoghome.html

شبكة الماء النظيف: www.cwn.org

إحدي الممارسات الزراعية الأخرى التي تساهم في تلوث المياه هي الرى (irrigation). وكما هو واضح، فإن ريّ المحاصيل لضمان نموّها هو أمر مهم، إن مشكلة تبدأ في الظهور عندما تصبح المياه المستخدمة في رى المحاصيل ملوثة بالملح. في غربي الولايات المتحدة، حيث تسحب المياه من نهر كلورادو لأغراض الرى، وتعود بعد ذلك إلى النهر، تسرب المياه كميات ضخمة من الأملاح من الأراضي المروية وتضيفها إلى النهر. ويشير بيمنتال (1989,Pimental) إلى أنه في المواقع الأخرى من غربي الولايات المتحدة، حيث تستخدم الممارسات الزراعية ذاتها (منطقة نهر رد في أوكلاهوما وتكساس) فإن النهر المعني يصبح، في فترات الجفاف، أكثر ملوحة من ماء البحر.

المطر الحمضي (Acid rain)

لقد ناقشنا المطر الحمضي أو الترسبات الحمضية بإيجاز في الفصل الثامن، ويركز هذا القسم على آثار المطر الحمضي على البحيرات، والجداول، وأجسام

الأنهار. ولكي تفهم كيفية تأثير المطر الحمضي على الأجسام المائية فإنك تحتاج أن تستدعي بعض الحقائق المهمة . يتكون المطر الحمضي، عادة، حينما يلتقط بخار الماء المتكثف في الجو الجسيمات الحمضية من الهواء، ويتفاعل معها مكوناً الأحماض التي تسقط إلى الأرض على هيئة أمطار، أو جليد، أو ترسبات أخرى. التَعريف الأكثر دقة للمطر الحمضي هو أنه المطر الذي يكون أس الهيدروجيني أقل من 5.6. ويمكن للمطر الحمضي أن ينتج أساً هيدروجينياً ذا قيمة منخفضة تماثل قيمته بالنسبة للخل أو عصير الليمون (أي قيمة أس هيدروجيني تساوي 2.8 و2.3،على الترتيب).

وإنّ احدى أوضح الآثار ظهوراً للمطر الحمضي هي البحيرات الميتة، أو العقيمة. ويبدأ الدمار الذي تسببه الأمطار الحمضية حينما تموت الكائنات الحية الصغيرة أولاً، تاركة الكائنات الحية الأكبر تموت جوعاً. ومع زيادة حموضة البحيرة يحدث، في بعض الأحيان، أن تموت الكائنات الحية الأكبر (السمك،على سبيل المثال) مباشرة. كذلك، تذيب مستويات الحموضة المرتفعة في البحيرة المعادن الثقيلة مثل الزئبق، والرصاص والخارصين، والألمونيوم، على الأخص، الشئ الذي يقود إلى تراكيز ذات مستويات مسامة وقاتلة في العادة.

يمكن أن تؤثر الأمطار الحمضية أيضاً على صحة البشر. إذ بمقدورها أن تسمم المستودعات، وأنظمة إمداد المياه عن طريق إذابة المعادن السامة من التربة، والأديم الصخري في مستجمعات المياه. سجلت مقالة مبنية على مسح أجرته وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة ونشرت في العام 1998، أن 4 % من الجداول التي تم مسحها في ولايات وسط الأطلنطي، كانت حمضية، وأن صنفها تقريبا كان منخفض القدرة عن معادلة المطر الحمضي.

تلوث المياه الجوفية Groundwater pollution

المياه الجوفية، وهي محيط من المياه العذبة يقع أسفل سطح الأرض، وهي احدى أثمن المصادر، وأقلها حماية. المياه الجوفية هي مصدر مياه الشرب

لنصف عدد سكان الولايات المتحدة – ويأتي معظم هذه المياه من باطن الأرض دون أي معالجة. يمكن لتلوث المياه الجوفية أن يكون مشكلة خطيرة جداً.

عن طريق الخبرة والدراسة، قررنا أن أي ملوث يتماس مع جوف الأرض، قد يكون بمقدوره أن يلوث المياه الجوفية. مع دخول الماء إلى جوف الأرض يتم ترشيحه بصورة طبيعية، عبر التربة. وفي بعض الترب تزيل عملية الترشيح هذه، عدداً من المواد والعناصر بكفاءة عالية، ومن هذه المواد، "المواد الصلبة المعلقة"، والبكتيريا. كما أن بعض المواد الكيميائية ترتبط مع جسيمات التربة (لاسيما الفوسفات) وتزال تبعاً لذلك. ويعمد البعض في مناطق بمعينة إلى رشق النفايات الصناعية والمدينية على سطح الأرض لكي يتسنى لها أن ترشح عبر التربة، ويتم تنقيتها أثناء ذلك ويعاد شحن مستودع المياه الجوفية. ومع أن التنقية الطبيعية للماء عند عبوره التربة عملية مفيدة، إلا أنها بطيئة لأن الماء لا يتم تخفيفه بسرعة وليس له منافذ سريعة الى الهواء.

إن أنشطة أحواض التجفيف نفسها، التي تلوث المياه السطحية، بمقدورها أن تلوث المياه الجوفية أيضاً. وإن أحواض الصرف الصحي وبحيرات النفايات الزراعية، والصناعية الضحلة، وآبار الحقن الجوفية، وأحواض التخزين الأرضية، ومقالب النفايات، بمقدورها جميعاً أن تؤدي إلى تلوث المياه الجوفية (إنظر الشكل 17-1). وتحدث المشكلة الرئيسية عندما تقع مواضع التخلص من النفايات على ترب غير ملائمة، أو حتى عندما تقع مباشرة على صخور دولومايت (Dolomite) أو صخور كلسية فتاتية. حينما توضع المياه الملوثة على قمة هذه الصخور، فإنها تجد طريقها إلى الآبار . ولسوء الحظ إن 25% على الأقل من المياه الجوفية التي يمكن إستخدامها (من الآبار) ملوثة مسبقاً في بعض المناطق (درابر 1987).

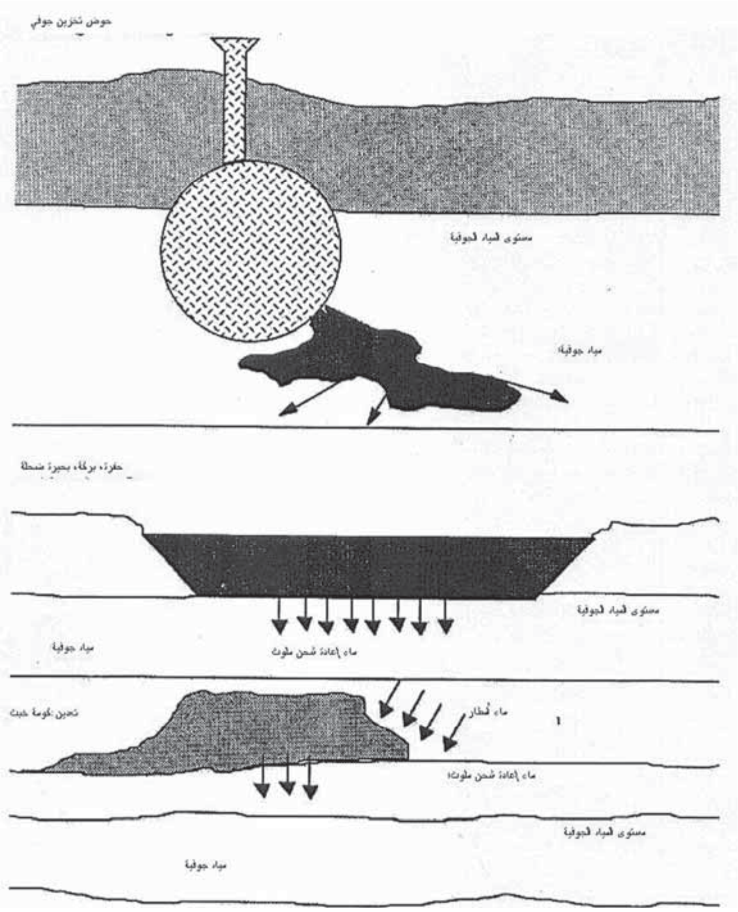
يحدث تلوث المياه الجوفية بعدد من الطرق وقد ولوحظ وجود حالات متزايدة من تلوث المياه الجوفية بالماء المالح، والملوثات المجهرية، والمواد الكيميائية السامة العضوية، وغير العضوية . كما أن طرق التخلص من النفايات الصناعية السامة، هي مصدر رئيسي لتلوث المياه الجوفية في الولايات المتحدة الأمريكية . يزيد هذا النوع من التلوث ضخامة في كل مرة لا تكون مواضع التخلص هذه محمية ببطانة ما، أو حينما تكون موجودة في مواد منفذة فوق مكامن المياه الجوفية، وحينما تقع هذه المواقع على مقربة من آبار الإمداد المائي. وقد سجلت مؤسسة كونسرفيشن (1982) أن تلوث المياه الجوفية كان المسؤول عن إغلاق مئات الآبار في الولايات المتحدة.

يتم تجديد وتنقية إمدادات المياه الجوفية بواسطة الأراضي الرطبة حيث تمتص نباتات الأراضي الرطبة فائض المغذيات وتحجز مبيدات الآفات، والمعادن الثقيلة، والسموم الأخرى وتمنعها من أن تنتقل إلى أعلى في السلسلة الغذائية. وقد أستخدمت الأراضي الرطبة في بعض المواضع، في معالجة سموم الصرف الصحي. إلا أن مقدرة هذه النباتات على غسل المياه الملوثة مقدرة محدودة، كما أن عدداً منها قد يكون مغمور بالتلوث. وهكذا، فقدنا في الولايات المتحدة، نصف الأراضي الرطبة بسبب التنمية الحضرية، والزراعية (جولد سمث وهلديارد1988).

ملخص الفصل (Chapter summary)

مع تزايد عدد سكان العالم، نجد أنفسنا مجبرين، بسبب ظروف صنعناها بأنفسنا، أن نواجه حقيقة محدودية مواردنا. وفي الولايات المتحدة، وجد كثير منا الحظ الجيد في امتلاك كل ما نحتاج إليه، وحتى كل ما أردناه . وكلما إنكسر أو بلي شيء فإننا نرميه بعيداً، ونشتري بديلاً جديداً عنه وفي العادة نفعل ذلك حتى من دون أن نحاول إصلاح المشكلة. كما نتجاهل أيضاً الصيانة الأساسية، حتى ندمر ممتلكاتنا بحيث يتعذر إصلاحها، ونتوقع دائماً أن يكون

لدينا ما يكفي .إلا أن بعض الأشياء تفوق قدرتنا على التحكم، وتفوق قوتنا، ومقدرتنا المالية على الإستبدال أو الاصلاح. إمدادنا المائي هو واحد من هذه الأشياء. فمن دون إهتمامنا، ومن دون عنايتنا، ومن دون الصيانة الوقائية والإستصلاح، فإن الامداد المائي لن يكون قادراً على أن يدعم إحتياجتنا المستقبلية.



الشكل 17-1 الأنشطة الشائعة التي يمكن أن تؤدي الى تلوث المياه الجوفية: أحواض التخزين المسربة، الحفر السطحية، البرك، أو البحيرات الضحلة، وخبث التعدين الذي يساهم في ماء تجفيف المناجم الحمضي.

أسئلة ومسائل للمناقشة
(Discussion Questions and problems)

1. ماهوالمصدر الرئيسي لتلوث المياه؟
2. ما هو تجفيف ماء المناجم الحمضي؟ صف سببه، ومصدره، وآثاره.
3. كيف تساهم المخصبات في تلوث المياه
4. ميّز بين المصادر النقطية وغير النقطية للملوثات.
5. ماهو التلوث الحراري ؟ وماهي مصادره واثاره
6. إشرح ملوحة التربة بسبب الرى
7. إشرح أهمية التراكم الحيوي؟

مواضيع ومشاريع بحث مقترحة
(Suggested Research Topics And Projects)

1. إجرِ بحثاً عن المصادر النقطية وغير النقطية للتلوث في منطقتك، من أين تأتي، وإلى أين تنتهي.
2. إجر بحثاً عن تقنيات تنظيف الإنسكابات النفطية.
3. حلل أثر التلوث الحراري على الكائنات الحية في الجداول.
4. إجر بحثاً عن المواضع البيئية والبشرية المثيرة للقلق ذات الصلة بصناعة التعدين.
5. إجر بحثاً عن الممارسات الزراعية الحديثة، وأثارها البيئية.
6. إجر بحثاً عن الكيفية التي تغيرت بها مستويات الأمطار الحمضية وآثارها، منذ أن ظهرت المشكلة للمرة الأولي . وماهو الوضع الحالي للمشكلة ؟ وما الذي حدث للبحيرات الميتة؟
7. إجر بحثاً عن أهمية الأراضي الرطبة في إطار الأنظمة البيئية .

8. إجر بحثاً عن تدمير وحماية الأراضي الرطبة

المراجع المثبته
Cited references

Concern Inc. *Drinking Water: A Community Action Guide*. Washington, D.C., 1986, 1–4.
The Conservation Foundation. *State of the Environment 1982*. Washington, D.C., 1982, 110.
Draper, E. Groundwater Protection. *Clean Water Action News* (Fall 1987): 4.
Goldsmith, E., and N. Hildyard, eds. *The Earth Report: The Essential Guide to Global Ecological Issues*. Los Angeles: Price Stern Sloan, 1988.
New York Times. May 22, 1988, A16.
Peavy, S., D. R. Rowe, and G. Tchobanoglous. *Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill, 1985.
Pimentel, D. ''Waste in Agriculture and Food Sectors.'' Unpublished paper, Cornell University, College of Agriculture and Life Sciences, 1989.
Quigg, P. W. *Water: The Essential Resource*. New York: National Audubon Society, 1976.
Spellman, F. R., Drinan, J., and Whiting, N. E. *Transportation of Hazardous Materials: A Practical Guide to Compliance*. Rockville, Md.: Government Institutes, 2001.

المراجع المقترحة
Suggested references

The Conservation Foundation. *Groundwater Pollution*. Washington, D.C.: Conservation Foundation, 1987.
Council on Environmental Quality. *Contamination of Groundwater by Toxic Organic Chemicals*. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1981.
Hunt, C. A., and R. M. Garrels. *Water—The Web of Life*. New York: Norton, 1972.
King, Jonathan. *Troubled Water*. Emmaus, Pa.: Rodale Press, 1985.
National Research Council. *Groundwater Quality Protection*. Washington, D.C.: National Academy Press, 1986.
Rice, R. G. *Safe Drinking Water. The Impact of Chemicals on a Limited Resource*. Chelsea, Mich.: Lewis Publishers, 1985.
World Resources Institute. ''Natural Resources Consumption.'' In *World Resources 1994–95*. New York: Oxford University Press, 1994.
———. ''Water.'' In *World Resources 1994-95*. New York: Oxford University Press, 1994.
Worldwatch Institute. *State of the World Resources 1994–95*. New York: Norton, 1995.

الفصل الثامن عشر

التحكم في تلوث المياه
Water Pollution Control

باستخدامنا قانون حرية المعلومات في الولاية، تحصلنا على سجلات نقل الأوحال وشراء الألوم [كبريتات الألمونيوم] لمنشأة بحيرة جادويك للترشيح في نيوبرة (Newburgh’s Chadwick Lake Filtration Plant). أوضحت هذه السجلات أنه، وبينما أنتجت هذه المنشأة ما يفوق المليون جالون من أوحال الألوم خلال العام 1984، لا شيء منها قد تم نقله بعيداً. والإحتمال الوحيد هو أن هذه الكمية قد تم التخلص منها برميها في الغدران، وأوضحت سجلات السنوات الماضية، أيضاً، فروقات عظيمة بين الألوم المنتج والكميات التي نقلت بعيداً. أخطرنا مصلحة الحفاظ على البيئة (DEC) مباشرة أن رمي النفايات على هذا النحو غير قانوني، آملين في الملاحقة الجنائية القانونية للبلدة.

لقد كان محبطاً لي (روبرت ف. كندي الصغير*) أن(DEC) إستجابت بدلاً عن ذلك بإصدار إذن مؤقت للبلدية بتفريغ غسول الألوم في الغدير. في ذلك الوقت، كنت قد قرأت مايكفي من القانون البيئي لكي أدرك أن هذا الإذن المفترض ليس قانونياً بالمرة، وفقاً لقانون الماء النظيف. كما أنها سمحت بتفريغات من الملوثات التي حرمها هذا القانون بوضوح . كذلك لم يخضع هذا الإذن للإشعار أو التعليق العام . ولم تكن هناك أي عقوبات، ولا متطلبات تنص على أن تقوم البلدية بتنظيف الجدول. ولعلني كنت ما أزال ساذجاً بحيث

* (Robert F. Kennedy Jr.)

صدمت من أن وكالة حكومية مُوكل إليها مهمة حماية العامة من التلوث، تتدخل بمثل هذه الصفاقة، لكي تحمي ملوثاً من القانون ومن الرأي العام.

–كرونين وكنيدي 1997، 107.

أهداف الفصل

(Chapter Objectives)

بعد دراسة هذا الفصل، ينبغي أن تكون قادراً على أن:

- تتعَرَّف على، وتُناقش القضايا السياسية والإجتماعية التي تلعب دوراً في إنشاء، وفرض، وتعديل، ومراجعة القوانين المنظمة لتلوث الماء على المستويين الولايتي والفدرالي.
- تَصف آثار القوانين المنظمة لتلوث الماء على إمداد الولايات المتحدة المائي.
- تتعَرَّف على، وتناقش المشاكل الموروثة في فرض القوانين المنظمة.
- تُعَرِّف، وتَصِف الخصائص، والمشاكل ذات الصلة بخمس مصادر شائعة من ولأنواع مياه الصرف الصحي.
- تُعَرِّف وتصف الخطوات السبع التي تتطلبها معالجة مياه الصرف الصحي.
- تتعَرَّف على الطرق الشائعة لمعالجة التلوث الحراري.
- تناقش المشاكل التي سببتها أحواض التخزين الجوفية.
- تتعَرَّف على المشاكل الرئيسية الموروثة في تنظيف (UST).
- تَصف متطلبات وكالة حماية البيئة (EPA) في الولايات المتحدة لأحواض التخزين الجوفية المعالجة والجديدة، والطرق شائعة الاستخدام في المعالجة.
- تُعَرِّف المشاكل المرتبطة بمعالجة المياه الجوفية، وأن تناقش الطرق المستخدمة لمعالجة الملوثات العضوية والملوثات غير العضوية.

خطة الفصل

(Chapter outline)

- مُناقشة: التاريخ الحديث للإهتمام بالبيئة والقوانين المنظمة التي صممت للتحكم في تلوث الإمداد المائي.
- مُناقشة: معايير وأولويات (SDWA) وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة.
- مُناقشة: فعالية قانون الماء النظيف، والتعقيد المتزايد للقضايا التي يتعامل معها.
- وصف مناقشة: كيف تعمل القوانين المنظمة على الوقاية من تلوث المياه. والعوامل التي تثبط من فعالية القوانين المنظمة، وموضع العلم في تحديد القضايا المهمة.
- وصف ومناقشة: عمليات معالجة المياه.
- وصف ومناقشة: معالجة مياه الصرف الصحي والأنواع المتعددة للنفايات المعالجة عادة، ومصادرها والخصائص الفيزيائية والكيميائية لمياه الصرف الصحي، وخطوات العملية.
- وصف ومناقشة: معالجة التلوث الحراري.
- تعريف، ووصف، ومناقشة : مقدار ضخامة التلوث الذي ينتج من أحواض التخزين الجوفية المسربة، والمسنة، والمهجورة، وتخفيفه; وممارسات المعالجة والمتطلبات على أحواض التخزين الجوفية الجديدة; متطلبات جداول الإمتثال من أجل تنفيذ القوانين المنظمة الحالية; متطلبات الإستجابة للإنسكابات; والتقنيات شائعة الإستخدام في معالجة مشاكل التلوث البترولي.

- وصف ومناقشة: المشاكل الخاصة المرتبطة بمعالجة المياه الجوفية الملوثة، سوائل الطور غير المائي الخفيفة وسوائل الطور غير المائي الكثيفة، وممارسات معالجة الملوثات العضوية وغير العضوية.

المصطلحات الرئيسية
(Key Terms)

المعالجة المتقدمة لمياه الصرف الصحي	(advanced wasterwater treatment)	تعرية الهواء	(air stripping)
المعالجة الأحيائية	(biological treatment)		
معالجة المواد الصلبة الأحيائية	(biosolid treatment)		
إمتصاص الكربون	(carbon adsorption)	الترسيب الكيميائي	(chemical precipitation)
قانون الماء النظيف (ق م ن)	(Clean water act (CWA)	مياه الصرف الصحي المتجمعة	(Combined wastewater)
طريقة برج التبريد	(Cooling tower method)	نزح الماء	(dewatering)
سوائل الطور	(dense nonaquous-	التعقيم	(disinfection)

		phase liquids (DNAPLs))	الغير مائي الكثيفة
		(domestic wasterwater)	مياه الصرف الصحي المنزلي
(excavation and disposal)	الحفر والتخلص	(dry tower method)	طريقة البرج الجاف
		(extraction well)	بئر الإستخلاص
(incineration)	الحرق	(federal water pollution control act (FWPCA)	القانون الفدرالي للتحكم في تلوث الماء
(injection well)	آبار الحقن	(industrial wastewater)	مياه الصرف الصناعي
(venting)	التنفيس	(Leaking underground storage tank (LUST)	أحواض التخزين الجوفية المسربة
		Right nonaquous-phase liquids (LNAPLs)	سوائل الطور غير المائي الخفيفة
(microbial degradation)	التفكيك الميكروبي	Maximum containment level (MCL)	مستويات التلوث القصوي

الريشة	(plume)	المعالجة الإبتدائية	(preliminary treatment)
المعالجة الأولية	(primary treatment)	نظام آبار الضخ	(puming well system)
قانون الحفظ على الموارد وإسترجاعها	(resources conservation and recovery act (RSRA)	قانون ماء الشرب الآمن	(Safe drinking water act – SDWA)
ماء الصرف الصحي	(Sanitary wastewater)	المعايير الثانوية لمياه الشرب	(secondary drinking and extraction)
المعالجة الثانوية	(secondary treatment)	غسل وإستخلاص التربة	(soil washing and extraction)
مياه العواصف الممطرة	(storm water)	المستويات المقترحة	(suggested levels)
التلوث الحراري	(thermal pollution)	نتروجين جلدهال الكلي	(total kjeldahl nitrogen (TKN)
طريقة الخندق	(trench method)	أحواض التخزين الجوفية	(underground storage tanks (USTs)
التطيير	(venting)	مياه الصرف الصحي.	(waste water)

مقدمة

Introduction

توضح المقدمة الإفتتاحية في هذا الفصل، والمأخوذة من (كتاب حراس النهر لكرونن وكنيدي) مثالاً واضحاً للقضايا المعنية عندما تخول القوانين المنظمة أفعالاً معينة من قبل جهات محمية لكي تمنع مشكلة بيئية مثل تلوث المياه. في بواكير السبعينيات من القرن العشرين أدرك العامة والبيئيون، المشرعون حقيقة أنه ينبغي فعل شيء ما لحماية وتنظيف مصادرنا المائية، خصوصاً موارد المياه العذبة التقليدية، والبحيرات، والجداول والأنهار. وفي الواقع كان البيئيون مدركين جداً لمشاكل الموارد المائية قبل عدد من السنين من المصادقة على التشريعات. إلا أنه وفي الخمسينيات والستينيات من القرن الماضي حينما كان البيئيون "يعربون" عن هموهم البيئية، تجاهلهم معظم الناس; رمى الملوثون ببساطة ورقتهم الرابحة، وأعلنوا أن هؤلاء البيئيتين ماهم إلا غريبو أطوار، وغريرون، ولبيراليون مرهفو القلب. إلا أنه ولحسن حظ البقية منا، فإننا إستيقظنا ومارسنا الضغط على الكونغرس لكي يصادق على قانونين منظمين رئيسين صمما خصيصاً لحماية المصادر المائية للأمة، قانون مياه الشرب الآمنة لعام 1974 والقانون الفيدرالي للتحكم في تلوث الماء لعام 1972.

قانون ماء الشرب الآمن (SDWA)

Safe Drinking water Act

إستحدث قانون ماء الشرب الآمن لعام (Safe Drinking Water Act of 1974) (1974) حينما أصبح المشرعون الفيدراليون على وعي بالوضع المحزن(وغير الصحي) لعدد من إمدادات مياه الشرب المحلية، وتردد المسئولون المحليون والولائيون في شأن إزالة الملوثات من مياه الصرف الصحي خاصتهم. لقد وضع القانون معاييراً لمياه الشرب الوطنية أسماها

مستويات الملوثات القصوي (Maximum Contamination Levels) (MCLs) للملوثات التي ربما أثرت بشدة على الصحة العامة.

دخل أول هذه المعايير حيّز النفاذ بعد ثلاث سنين لا حقة، وغطى بصورة خاصة كل مصدر عام للماء يخدم 15 منشأة مستفيده أو 25 شخصاً أو أكثر. وبسبب التُعَّرف على ما يربو عن 200 ملوث من النفايات الخطيرة التي تم حقنها في التربة والمياه الجوفية، أرسى (SDWA) معايير لحماية المياه الجوفية من مثل هذه الممارسات. وتطلب هذا القانون بصورة خاصة إنشاء برامج لحماية مياه الشرب من مصادر المياه الجوفية الحساسة، من أجل حماية المناطق المحيطة بالآبار التي تمد أنظمة شرب المستفيدين، ومن أجل تنظيم وسائل الحقن الأرضي للنفايات أعلى واسفل مصادر مياه الشرب.

لاحقاً، وفي العامين 1982و1983، أسست وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة قائمة أولوية لوضع القوانين الخاصة بتنظيم استخدام ما يزيد على سبعين مادة. أدرجت هذه المواد في القائمة لأنها سامة، ولإحتمال وجودها في مياه الشرب. في العام 1986، حينما أعاد الكونغرس تفويض(SDWA) قام أيضاً بتعديل القائمة، ووجه وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة بأن تراقب مياه الشرب بحثاً عن وجود ملوثات أخرى غير مدرجة، وأن تخطر مَموني مياه الشرب العامة بالمواد التي ينبغي البحث عنها. كما طالبت مفوضية أخرى استحدثت في العام 1986، وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة، أن تضع معايير جديدة خلال فترة ثلاثين عاما، لكل المواد السبعين الموجودة في قائمة أولوياتها. وفي نهاية العام 1994، تم توسيع قائمة الأولوية، وأسست وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة معايير لما يفوق الثمانين مادة.

بموجب هذا القانون، تكون أنظمة المياه العامة المحلية ملزمة بمراقبة مياه الشرب خاصتها بصورة دورية، بحثاً عن الملوثات ذات المستويات القصوى، ولمدى واسع من الملوثات الأخرى، التي حددتها وكالة حماية البيئة في الولايات

المتحدة. وكان فرض المعايير، والمراقبة، ورفع التقارير مسئولية الولايات منفردة، إلا أن تعديل 1986 ألزم وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة أن تتصرف حينما تفشل الولايات في التصرف، أو حين تتصرف هذه الولايات ببطء شديد، كما أن هذا التعديل أعطى المفوض فرصة فرض عقوبات مادية كبيرة على المخالفين.

أعطى (SDWA) وتعديلاته أيضاً السلطة لوكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة أن ترسي معايير ثانوية لمياه الشرب Secondary Drinking (Water Standards)، في ما يخص السلامة العامة، عن طريق توفير إرشادات بخصوص المذاق، والرائحة، واللون، والنواحي الجمالية لمياه الشرب، التي لا تمثل خطراً على الصحة. أن هذه الإرشادات لا يتوجب فرضها ويطلق عليها المستويات المقترحة (suggested levels). أوصت وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة بهذه المستويات للولايات كأهداف معقولة، إلا ان القانون الفيدرالي لا يلزم الأنظمة المائية عموماً بأن تمتثل لها، مع أن بعض الولايات المنفردة فيها قوانين منظمة تخص هذه القضايا المهمة، ويمكن فرضها.

لقد حظرت تعديلات العام 1996 كل الإستخدامات المستقبلية لأنابيب الرصاص، ولسبائك لحم الرصاص في أنظمة مياه الشرب العامة، كما ألزمت أنظمة شرب الماء العامة بأن تخطر كل مستخدميها بالمصادر المحتملة للتلوث بالرصاص، وآثاره الصحية، والخطوات المعقولة التي يمكنهم أن يتخذوها من أجل تخفيف التلوث بالرصاص.

القانون الفيدرالي للتحكم في تلوث الماء (FWPCA)
Federal water Pollution Contral Act

صادق الكونغرس في العام 1972، على القانون الفيدرالي للتحكم في تلوث الماء، الذي يعرف عادة بقانون الماء النظيف (CWA). نشأ قانون الماء

النظيف أساساً من قانون العام 1948، الذي عدل كثيراً، والذي أعان المجتمعات على بناء منشآت معالجة مياه المجاري . قانون الماء النظيف هو حجر الزاوية في القانون البيئي (القانون الذي أشار إليه كيندي في فاتحة هذا الفصل)، والذي ينسب اليه الفضل في التقليل الكبير لمقادير التلوث الداخل إلى الأجسام المائية في الأمة من المصادر المدينية، والصناعية.

وعبر السبعينيات والثمانينيات من القرن العشرين، كان الهدف الرئيسي لقانون الماء النظيف هو جعل المياه الوطنية صالحة للصيد والسباحة. وبصورة خاصة، هدف هذا القانون إلى إزالة تفريغات مياه الصرف المدينية والصناعية من الممرات المائية (والتي يستخدم عدد منها كمصادر لمياه الشرب)، موفراً بذلك مليارات الدولارات من أجل تمويل بناء منشآت معالجة مياه المجاري.

لقد ركزت تعديلات القانون في العام 1987 (قانون جودة الماء، الذي أعاد تفويض قانون الماء النظيف الأصلي)، على تحديث معايير التعامل مع المواد الكيميائية السامة، لأن معظم التلوث السام الذي مازال يفسد أجسام المياه السطحية، أتى من الشركات التي نصبت تقنيات تحكم في التلوث من حقبة السبعينيات. ولأول مرة حاول القانون كذلك أن يتعامل مع تلوث الماء الذي ينشأ من مصادر غير نقطية (شوارع المدينة وأراضي المحاصيل، على سبيل المثال) بإلزام الولايات بالتُعَّرف على المياه التي لا تستوفي معايير الجودة، وتطوير برامج للتعامل مع المشكلة. وقد منحت تعديلات العام 1987 كذلك وحدة مهندسي الجيش الأمريكي التفويض لتنظيم، وتجريف، وملء الأراضي الرطبة.

أثر القوانين المنظمة في الوقاية من تلوث الماء

Effect of regulations on preventing water pollution

حكماً على الظاهر، إفترضنا أن القوانين التي مُررت منذ بداية السبعينيات، والتي صُممت لحماية موارد المياه، كافية بذاتها لضمان جودة المياه. إلا أننا

سوف نكون مخطئين بطبيعة الحال. فحينما عبر كينيدي عن صدمته من أن "وكالة حكومية، موكل إليها حماية العامة من التلوث، سوف تتدخل بمثل هذه الصفاقة، لكي تحمي ملوثاً من العامة ومن القانون" فأنه قد أثار نقطة معقولة وصحيحة على الدوام: بإمكانك أن تصنع كل القوانين التي تريد، إلا أن المتطلبات لا تعني بالضرورة تنفيذها أو فرضها. وقد إنتقد عدد من الأطراف وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة لفشلها في فرض (SDWA)، وقانون الماء النظيف بصورة جيدة. ونشأت في الوقت عينه مشكلة أخرى، أيضاً، بخصوص حماية إمدادات المياه الجوفية، وهي أن هذه البرامج لم تمول بصورة كافية، أو لم تجد التمويل على الإطلاق. اضافة إلى ماسبق، انتقد عدد من أنصار البيئة وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة لإستثنائها ما يفوق 100,000 نظام مائي عام من متطلبات (SDWA)، لأن هذه الأنظمة لا تقدم خدماتها لسكان ثابتين على مدار السنة، على الرغم من أن هذه الأنظمة تشمل مدارس، ومصانع، ومنتجعات موسمية، ومعسكرات صيفية ومطاعم على قارعة الطريق، ومستشفيات.

يمكن القول ببساطة إن القوانين المنظمة التي صممت من أجل حماية البيئة، وحماية الصحة العامة، في الوقت ذاته، ما هي إلا الخطوة الأول على الطريق الرابط بين التلوث والوقاية منه. وما إن تدخل هذه القوانين المنظمة حيز التنفيذ، حتى ينبغي الإمتثال لها وفرضها، وبعدئذ ينبغي أن تنقل المجهودات من طور تحديد الوجهة والأهداف، والمقاصد إلى طور التنفيذ. وهنا تبدأ التقنية في لعب الدور الأهم، ما أن يبدأ طور التنفيذ. نذكر، أن المجتمع يمكن أن يمتلك كل أنواع الخطط، والأهداف، والمقاصد، والقوانين المنظمة من أجل أن يحدد ما ينبغي فعله من أجل تصحيح، أو تخفيف وطأة مشكلة بيئية، غير أنه لا شيء مما ذكر بمقدوره ان يحقق التغيير الإيجابي مالم تتوفر الوسائل (التقنية) المطلوبة من أجل إنجاز هذه المتطلبات.

مع هذه "الوسائل" ينبغي كذلك أن ياتي مقدار معين من الفهم العام. إن طرق التحليل العلمي المؤسس، والحذر، والمشروع هي وحدها القادرة على أن توفر الإجابات والحلول للمشاكل البيئية.

ومع ذلك، هناك شيئ واحد مؤكد. هو أنّه وقبل أن نقفز إلى إتخاذ أي قرارات غير مدروسة جيداً، مبنية على العواطف، أو مبنية فقط على الإعتبارات المالية، أو أي شيء آخر غير العلم والمعرفة، ينبغي أن نرجع قليلاً إلى الوراء، ونقوم بتقييم الموقف – عن طريق الأسلوب العلمي المناسب. وهناك الكثير على المحك، بما لا يسمح بأن نعتمد على الخيارات غير المدروسة التي يختارها الساسة ذوو المصالح السياسية الخاصة، والمدعومون من قبل الصناعة عبر لجان الدعم السياسي. كما يجب أن لا نترك مستقبل إمدادنا المائي للبيروقراطية الفاشلة وإلى ما يدعى بالتحليل- أو إلى نتائج مثل هذا التحليل. وكما هو واضح، ومن دون جدال، فإننا نحتاج إلى أن نتوقف عن تلويث أجسام المياه السطحية والجوفية بخاصة. وينبغي أن لا نفعل أي شئ لبيئتنا، مالم يدعم العلم استثمارنا.

نحن بحاجة ماسة أن نستبدل الموقف المحبط الذي أكل عليه الدهر بأننا "ينبغي أن نبدأ من مكان ما". ولكننا من ناحية أخرى محظوظون. فالتنقية التي نحتاجها لكي نحمي، وننظم مواردنا المائية متاحة. والتقدم في تنقية تلوث المياه يجري على قدم وساق. وفي عدد من الحالات، ومن أجل تسهيل عملية التنصيب، فإن معظم التنقية التي نحتاجها لحماية و/ أو معالجة المياه ومياه الصرف الصحي، قد تم تمويلها من قبل الحكومة الفيدرالية.

في الأقسام التالية من الفصل سنناقش، بإيجاز تقنيات المعالجة التقليدية الموجودة حالياً، والمستخدمة على نطاق واسع (الماء ومياه الصرف الصحي، والأحواض الحرارية، وأحواض التخزين الجوفية، والمياه الجوفية).

معالجة المياه
Water treatment

تتحكم البلديات عادة بالملوثات في إمدادات مياه الشرب المحلية بإتباع طرق معالجة مرساة. تمر المياه المسحوبة من المصدر (البحيرات، أو الأنهار، أو مكامن المياه الجوفية) بمرحلة المعالجة قبل أن توزع لوجهاتها المحلية (المنازل، والمدارس، والأعمال، والمستشفيات). وتحدد جودة المياه الإبتدائية درجة المعالجة المطلوبة التي تشمل معظم أنظمة المياه، صغيرة كانت أم كبيرة.

يضاف الألوم،أو الكلس، إلى إمدادات المياه لكي يكون رواسب جيلاتينية (جسيمات جلاتينية صغيرة – رواسب غير ذائبة)، تقوم بتجميع الأوساخ والمواد الصلبة الأخرى. يؤدي المزج البطيء للماء إلى ترابط جسيمات الرواسب الجيلاتينية مع بعضها البعض، وتكوينها جسيمات أكبر تسقط مع الرسوبيات الأخرى إلى القاع، ويمكن إزالتها في نهاية المطاف في هيئة أوحال. يتم ترشيح الماء بعد ذلك عبر مادة حبيبية (الرمل، أو الكربون – الفحم الصلب المسحوق) ويضاف الكلور، أوهايبوكلورايت الصوديوم، أو الأشعة فوق البنفسجية من أجل قتل البكتيريا والكائنات الحية الأخرى، وتضاف مادة كيميائية أيضاً (عادة ماتكون الكلس) من جل رفع قيمة الأس الهيدروجيني (تقليل درجة الحموضة) للماء، ومنع تآكل أنابيب البلدية والأنابيب المنزلية. أيضاً، تضيف بعض منشآت البلديات الفلورايد إلى امدادات المياه من أجل منع تسوس الأسنان.

ترسل المياه المعالجة عبر شبكة من الأنابيب (نظام توزيع) إلى الزبائن. ولكي تضمن جودة المياه، يجب مراقبتها وإختبارها من قبل مشغلين مرخصين، عبر مراحل عملية المعالجة والنقل. وبصورة عامة، فإن المياه السطحية هي الأكثر تعقيداً من حيث المعالجة بالمقارنة مع المياه الجوفية، لأن لها إحتمالية تلوث أكبر. إلا أن بعض المياه الجوفية تكون عسرة (تحتوي على الكالسيوم أو

المغنزيوم)، الشيء الذي يعني إضافة خطوة إضافية لعملية المعالجة (التنعيم– بإستخدام الألوم والكلس) من أجل إزالة العسرة.

معالجة مياه الصرف الصحي

Wastewater treatment

ماهي مياه الصرف الصحي؟ وأين وكيف يتم توليدها، وكيف تتم معالجتها؟ هنالك خمسة مصادر رئيسية تنتج مياه الصرف الصحي، ولكل مصدر من هذه المصادر خصائصه المميزة.

1. **النفايات البشرية والحيوانية (Human and animal wastes)**: هذه تعتبر الأكثر خطورة، من وجهة نظر الصحة الإنسانية. وتحتوي على التفريغات الصلبة والسائلة من البشر والحيوانات، ومليارات البكتيريا، والفيروسات، والكائنات الحية الأخرى، التي يكون بعضها ممرضاً.
2. **النفايات المنزلية (Household wastes)** : يقصد بها النفايات الأخرى، من غير النفايات البشرية والحيوانية التي يتم تفريغها من المنازل، وتشمل الأوراق، والمنظفات المنزلية، ومساحيق الغسيل، والمخلفات، والقمامة، وأي مادة أخرى يستطيع عامة أصحاب المنازل تفريغها في نظام الصرف الصحي.
3. **النفايات الصناعية (Industrial Wastes)**: كل المواد التي يمكن تفريغها من العمليات الصناعية في نظام التجميع تندرج تحت هذه المجموعة. وتشمل المواد الكيميائية، والأصباغ، والأحماض والمواد القلوية، والحصى، ومساحيق الغسيل وبعض المواد عالية السمية. وترتبط خصائص هذه المواد بنوع الصناعة، ولا يمكن تحديدها من دون معلومات مفصلة عن الصناعة المعنية والعملية المستخدمة .
4. **الجريان السطحي من العواصف الممطرة (Stormwater runoff)**:

اذا كان نظام التجميع مصمماً لكي يحمل نفايات المجتمع والجريان السطحي من مياه العواصف الممطرة، فإن مياه الصرف الصحي أثناء وبعد العواصف سوف تحتوي على مقادير ضخمة من الرمل، والحصى، وملح الطرقات والحصى، وكميات فائضة من الماء.

5. مُرشح المياه الجوفية (Groundwater Infiltration): إذا كان نظام التجميع قديماً أو غير مغلق بإحكام، فإن المياه الجوفية قد تدخل إلى النظام عبر الشقوق، والفتحات، والمفاصل غير المغلقة. الأمر الذي قد يضيف مقادير ضخمة من المياه إلى مياه الصرف الصحي، مع كميات إضافية من الحصى.

يمكن تصنيف مياه الصرف الصحي إعتماداً على مصادر الإنسياب:

1. **مياه الصرف الصحي المنزلية (Domestic wastewater)** (مياه المجاري): وتتكون بصورة أساسية من النفايات البشرية، والحيوانية، ونفايات المنازل، ومقادير صغيرة من رشيح المياه الجوفية، وربما تشمل أيضاً مقادير صغيرة من النفايات الصناعية.
2. **مياه الصرف الصحي (Sanitary wastewater):** تتكون من النفايات المنزلية وكميات ضخمة من النفايات الصناعية. وفي عدد من الحالات، يمكن معالجة النفايات الصناعية من دون إتخاذ خطوات إحترازية خاصة. وفي بعض الحالات الأخرى تحتاج النفايات الصناعية إلى مثل هذه الخطوات الإحترازية، أو إلى برنامج معالجة مسبقة لضمان عدم تسبب النفايات في مشاكل للمنشأة.
3. **مياه الصرف الصحي الصناعية Industrial wastewater:** عادة تقرر الصناعات إن معالجتها لنفاياتها بصورة منفصلة عن النفايات المنزلية هو الخيار الأقل تكلفة.
4. **مياه الصرف الصحي المجمعة (Combined wastewater):** وهي تجميع لمياه الصرف الصحي الصحية والجريان السطحي من

مياه العواصف الممطرة. وعادة ينقل كل ماء الصرف الصحي وماء الامطار عبر نظام واحد ليدخل إلى نظام المعالجة.

5. **مياه العواصف الممطرة (Stormwater)**: أنشأ عدد من المجتمعات أنظمة تجميع منفصلة لكي تحمل الجريان السطحي من مياه العواصف الممطرة. ينبغي أن يشمل إنسياب مياه العواصف الممطرة الحصى، وبقايا أوساخ الشوارع، ولا ينبغي أن يحمل نفايات منزلية أو صحية . تحتوي مياه الصرف الصحي على مواد مختلفة يمكن أن تستخدم في تشخيصه. وتختلف المواد المعينة الموجودة فيه، إعتماداً على المصدر، كما تختلف مقادير وتركيزات كل منها. لهذا السبب، عادة ما يمزج توصيف خصائص مياه الصرف الصحي مع مياه الصرف الصحي المنزلية المتوسطة (average domestic wastewater). بعض المصادر والأنواع الأخرى من مياه الصرف الصحي يمكنها أن تغير من الخصائص بصور دراماتيكية.

تشمل الخصائص الفيزيائية لمياه الصرف الصحي:

اللون: مياه الصرف الصحي العادية تكون رمادية وغامقة اللون. ويتغير لون مياه الصرف الصحي هذه بصورة كبيرة (إلى الأسود) إذا سمح لها بأن تتعفن.

الرائحة: مياه الصرف الصحي المنتجة حديثاً لها رائحة نتنة. وتتغير هذه الرائحة بصورة كبيرة إذا تعفنت هذه المياه. تنتج مياه الصرف الصحي المتعفنة رائحة البيض الفاسد، المرتبطة بإنتاج كبريتيد الهيدروجين.

درجة الحرارة : وتكون عادة قريبة من درجة حرارة الإمداد المائي. وبمقدور الكميات الكبيرة من الرشيح، أو إنسياب مياه العواصف الممطرة أن تسبب تغييرات كبيرة في درجة الحرارة.

الإنسياب: يعبر عادة عن حجم مياه الصرف بعدد الجالونات المخصصة للفرد الواحد لكل شخص في اليوم. صممت معظم محطات المعالجة بإستخدام

الإنسياب المتوقع، الذي يبلغ ما بين 100- 200 جالون لكل شخص اليوم. قد يتوجب مراجعة هذه الأرقام لعكس درجة الرشيح أو إنسياب مياه العواصف الممطرة التي تستقبلها المنشأة. سوف تختلف معدلات الإنسياب مع مرور اليوم . هذا الإختلاف، الذي قد يبلغ 50 – 200% من متوسط الإنسياب اليومي، يعرف بإختلاف الإنسياب النهاري (diurnal flow variation).

الخصائص الكيميائية لمياه الصرف الصحي:

القلوية (Alkalinity): مقياس لمقدرة مياه الصرف الصحي على معادلة الأحماض. وتقاس بإستخدام قلوية البيكربونات، والكربونات، والهيدروكسيد . القلوية هي عامل أساسي في تنظيم (الحفاظ على الأس الهيدروجيني المتعادل) مياه الصرف الصحي خلال عمليات المعالجة الحيوية.

الطلب الكيميائي الحيوي على الأوكسجين (BDO): وهو مقياس لمقدار المادة القابلة للتحلل الحيوي في مياه الصرف الصحي. ويقاس عادة بإختبار يستمر خمسة أيام يجري عند درجة حرارة مقدارها 20 درجة مئوية. (BOD_5) للنفايات المنزلية يكون عادة في المدى بين 100- 300 ملغم / لتر.

الطلب الكيميائي على الأوكسجين (COD): مقياس لمقدار المادة القابل للأكسدة في العينة. يكون (COD) في المدى ما بين 200- 500 ملغم/لتر. وجود النفايات الصناعية يمكنه أن يزيد من هذا المعدل بصورة كبيرة.

الغازات المذابة (Dissolved gases): هي الغازات التي تذوب في مياه الصرف الصحي. وتعتمد الغازات وتراكيزها المعتادة على مكونات مياه الصرف الصحي. تحتوي مياه الصرف الصحي العادية على الأوكسجين (بتراكيز منخفضة نسبياً)، وثاني أوكسيد الكربون، وكبريتيد الهيدروجين (إذا وجدت ظروف التعفن).

مركبات النيتروجين (Nitrogen compounds): يختلف نوع ومقدار النتروجين الموجود بين مياه الصرف الصحي الخام والدفق الخارج المعالج.

يتبع النيتروجين دورة أكسدة وإختزال. معظم النتروجين في مياه الصرف الصحي غير المعالجة يكون على هيئة نتروجين عضوي ونتروجين النشادر. ويتحدد وجوده ومستوياته عن طريق الإختبارات المختبرية. يمكن أيضاً قياس مجموع هاتين الهيئتين في النتروجين، ويعرف بنيتروجين جلدهال الكلي (TKN). تحتوي مياه الصرف الصحي عادة ما بين 20– 85 ملغم/ل من النتروجين. يكون النتروجين العضوي عادة في المدى بين 8 – 35 ملغم/ل، بينما يكون نتروجين النشادر في المدى ما بين 12 إلى 50 ملغم/ل.

الأس الهيدروجيني (pH): طريقة للتعبير عن مستوى الحمضية في مياه الصرف الصحي. للمعالجة المناسبة لمياه الصرف الصحي، ينبغي أن يكون الأس الهيدروجيني عادة في المدى ما بين 6.5– 9.0.

الفسفور (Phosphorus): أساسي للنشاط الحيوي، يجب أن يوجد الفسفور بكميات دنيا،على الأقل، أو لن تعمل عمليات المعالجة الثانوية. بمقدور الكميات الفائضة من الفسفور أن تسبب دماراً للجدول، ونمو طحلبياً فائضاً. وعادة ما يكون الفسفور في المدى مابين 6–20 ملغم/ل. ولقد كان لإزالة مركبات الفوسفور من سوائل التنظيف تأثير كبير على مقادير الفسفور في مياه الصرف الصحي.

المواد الصلبة (Soilds): يمكن تصنيف معظم الملوثات الموجودة في مياه الصرف الصحي على أنها مواد صلبة. تصمم معالجة مياه الصرف الصحي عادة لإزالة المواد الصلبة أو تحويلها إلى مركبات أكثر ثباتاً، يمكن إزالتها بصورة أكثر سهولة. ويمكن تصنيف المواد الصلبة ايضاً إعتماداً على تكوينها الكيميائي (عضوية أو غير عضوية)، أو على اساس خواصها الفيزيائية (يمكن ترسيبها، أو طافية، أوغروية). تكون التراكيز الكلية للمواد الصلبة عادة في المدى مابين 350 - 1200 ملغم/ل.

الماء (Water): وهو، دائما، المكون الرئيسي في مياه الصرف الصحي. في معظم الحالات يكون الماء ما بين 99.5 إلى 99.9% من مياه الصرف الصحي. حتي بالنسبة لأقوى مياه الصرف الصحي، يكون المقدار الكلي للتلوث الموجود أقل من 0.5 % من المجموع الكلي، ويكون عادة أقل من 0.1% في النفايات متوسطة القوة.

كعملية، تصمم معالجة الصرف الصحي لكي تستخدم عمليات التنقية الطبيعية إلى أقصي مستوى ممكن، ولكي تعمل هذه العمليات في بيئات متحكم بها بدلاً من أن تتم على إمتداد عدد من أميال على جدول.إزالة الملوثات التي لاتزيلها العمليات الطبيعية، ومعالجة المواد الصلبة التي تنتجها خطوات المعالجة، هي مهام إضافية من مهام معالجة مياه الصرف الصحي. الأهداف المحددة التي صممت منشآت معالجة مياه الصرف الصحي من أجل إنجازها تشمل:

- حماية الصحة العامة.
- حماية إمدادات المياه العامة.
- حماية الحياة المائية.
- الحفاظ على أفضل الإستخدامات للمياه.
- حماية الأراضي المجاورة.

يتم إنجاز معالجة مياه الصرف الصحي بتطبيق ما يصل إلى سبع خطوات معالجة رئيسية لتيار النفايات الداخل. عمليات ومعدات كل خطوة تكون مختصة بالمهمة. تشمل الأقسام الرئيسية لخطوات المعالجة المستخدمة في عدد من منشآت المعالجة، المعالجة الإبتدائية، والمعالجة الأساسية، والمعالجة الثانوية، والمعالجة المتقدمة لمياه الصرف الصحي، والتعقيم ومعالجة المواد الصلبة الحيوية.

المعالجة الإبتدائية (Preliminary treatment): تزيل المواد (الأخشاب، والصخور، والهيئات الأخرى من الحطام) التي يمكن أن تحطم معدات منشأة المعالجة، أو أن تشغل سعة معالجة من دون أن تتم معالجتها.

المعالجة الأساسية أو الأولية (Primary treatment): تزيل الجسيمات الأكبر عن طريق ترشيحها عبر الغرابيل، والمواد التي يمكن ترسيبها، والمواد الصلبة الطافية في برك أو بحيرات ترسيب ضحلة. تزال المياه بعد ذلك من قمة بحيرة الترسيب الضحلة ويتم إطلاقها. الماء الذي يعالج بهذه الطريقة تكون رماله وحصاه قد أزيلتا، إلا أنه مازال يحمل حملاً ثقيلاً من المادة العضوية، والأملاح المذابة، والبكتيريا، والأحياء المجهرية الأخرى. تزيل المعالجة الأساسية ما يصل إلى 60 % من المواد الصلبة المعلقة. في المدن الكبرى، حيث تأخذ عدة مدن تقع على بعد أميال قليلة أو/أقل من بعضها البعض الماء وترجعه إلى الجدول، لا تكون المعالجة الأساسية كافية.

المعالجة الثانوية (Secondary Treatment): عادة تلي المعالجة الأساسية وتصمم لكي تزيل (BOD_5) والمواد العضوية المذابة والغروية المعلقة عن طريق النشاط الإحيائي. تحول المواد العضوية إلى مواد صلبة ثابتة، وثاني أكسيد الكربون، ومواد عضوية أخرى عن طريق تثبيت مياه الصرف الصحي حتى تحلل البكتريا والكائنات الحية المجهرية الأخرى المواد العضوية. تزيل المعالجة الثانوية مايصل إلى 90% من النفايات المتطلبة للأكسجين بإستخدام مرشحات التقطر (trickling filter) حيث تفكك البكتريا الهوائية مياه المجاري أثناء تسربها عبر حوض ضخم مملوء بالأوساط (الصخور، الأوساط البلاستيكية، ...الخ) ومغطى بالنمو البكتيري، أو عبر عملية الوحل المنشط (activated sludge process)، والتي تضخ فيها مياه المجاري في حوض ضخم وتمزج لعدد من الساعات مع المواد الصلبة الحيوية الغنية بالبكتريا والهواء من أجل زيادة التحلل البكتيري. من أجل تحسين هذه

العملية إلى حدها الأقصى تضاف كميات ضخمة من الماء ذي المحتوى الأوكسجيني العالي، أو ماء التهوية مباشرة عن طريق نظام نفخ.

المعالجة المتقدمة لمياه الصرف الصحي (Advanced wastewater treatment) (المعالجة الثالثية لمياه المجاري):

تستخدم العمليات الفيزيائية والكيميائية والحيوية لإزالة (BOD_5) الإضافي، والمواد الصلبة والمغذيات. تستخدم المعالجة المتقدمة لمياه الصرف الصحي عادة في المنشآت التي يكون فيها مقادير ضخمة،بصورة غير معتادة، من الفسفور والنتروجين.

التعقيم (Disinfection): يستخدم لقتل الكائنات الحية المجهرية الممرضة من أجل إزالة إمكانية المرض عند تفريغ الإنسياب.

معالجة المواد الصلبة الحيوية (Biosolids treatment): تعمل على تثبيت المواد الصلبة المزالة من مياه الصرف الصحي خلال عملية المعالجة، وتثيط نشاط الكائنات الحية الممرضة، و/ أو تخفض حجم المواد الصلبة الحيوية عن طريق إزالة الماء (**نزح الماء Dewatering**).

معالجة التلوث الحراري
Thermal pollution treatment

يستخدم نصف المياه التي تسحب في الولايات المتحدة على، وجه التقريب، في عملية تبريد المنشآت الضخمة المنتجة للطاقة. الطريقة الأكثر إستخداماً (لأنها الأسهل والأرخص) هي سحب المياه الباردة من بحيرة أو نهر، وتمريرها عبر مبادلات حرارة في المنشأة ثم إرجاع الماء المسخن إلى الجسم المائي ذاته. يرفع تفريغ الماء الدافئ من درجة حرارة الجسم ويخفض من محتوى (DO)، كما يسبب إرتفاع معدلات التنفس في الأحياء المائية، وإستهلاك الأوكسجين،الشحيح الوجود أصلاً، بصورة أسرع.

بإمكاننا أن نقلل من الآثار الضارة للحرارة الفائضة في النظام البيئي للأحياء المائية، بعدد من الطرق. إثنتين من أكثر هذه الطرق إستخداماً هما طريقة برج التبريد، وطريقة البرج الجاف.

في طريقة برج التبريد(Cooling tower method) يتم رش الماء المسخن في الهواء، وتبريده عن طريق التبخير. العيب الواضح في طريقة المعالجة هذه، هو فقدان مقادير ضخمة من الماء عن طريق التبخير، كما أن إنتاج ضباب متموضع هو عيب آخر.

لا تطلق طريقة البرج الجاف (Dry tower method) الماء في الجو، بدلاً عن ذلك، يضخ الماء المسخن عبر أنابيب، وتطلق الحرارة في الهواء، وهو فعل يماثل ذلك الذي ينتجه مبرد السيارات. العيب في إستخدام طريقة البرج الجاف هي تكلفته العالية، سواء تكلفة إنشائه أو تشغيله.

تقنية التحكم في التلوث

Pollution Control Technology

أحواض التخزين الجوفية

Underground storage tanks

تتراوح التقديرات الحديثة بين 5–6 ملايين، إلا أنه لا أحد على يقين من عدد أحواض التخزين الجوفية (Underground storage tanks) (USTs) الموجودة قيد الإستعمال في الولايات المتحدة، والتي تحتوي على مواد خطيرة أو منتجات بترولية. وما يعقد هذه القضية، أن لا أحد في مقدوره أن يخمن عدد USTs التي لم تعد مستعملة (المهجورة)، والتي ظلت محتوياتها ترشح ببطء مفسدة الماء والأرض والهواء. مشكلة أخرى ممكنة الحدوث تنتظر وقتها الملائم على أحر من الجمر; هي أن USTs التي لا ينتج عنها تسرب في الوقت الحاضر، إلا أنها على الأرجح، سوف تبدأ فى التسرب فى المستقبل القريب.

غير أن هناك شيئاً واحداً مؤكداً، وهو أن التلوث البيئى من (USTs) المسربة يشكل تهديداً عظيماً لصحة البشر وللبيئة.
بالإضافة إلى المشكلة الواضحة في إفساد الأوساط البيئية (الماء، والتربة، والهواء)، يبدو من المفارقة أن أحواض التخزين الجوفية المسربة هذه تشكل مخاطر إحتراق وإنفجار جدية. والمفارقة أن هذه المخازن تستخدم عادة كأحد معايير الوقاية من الحرائق والإنفجارات(على أساس أن الخطر قد تم دفنه تحت الارض). إلا أنه وفى يومنا هذا تجد المخاطر التى عملنا على حماية أنفسنا منها، طرقاً وأساليب من أجل تقديم نفسها لنا بوسائل مختلفة.
هذا ولا تتوقف مشكلة الخزانات المسربة عند إفساد البيئة (خصوصا المياه الجوفية، التى يعتمد عليها أكثرمن 50 % من سكان الولايات المتحدة كمصدر لمياه الشرب)، ومخاطر، الحريق والإنفجار. وحسب، بل أن المنتجات التى تطلق من هذه الخزانات المسربة بمقدورها، أيضاً، أن تدمر خطوط نقل مياه الصرف الصحي، والكيبلات المدفونة، وبمقدورها كذلك أن تسمم محاصيلنا.
ولكن ما هى أحواض التخزين الجوفية؟ تُعَّرف وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة أحواض التخزين الجوفية، بموجب قانون الحفاظ على الموارد الطبيعية وإستردادها، بأنها الأحواض التى يكون 10% أو أكثر من حجمها (ضمنها الأنابيب) مدفوناً تحت الأرض. أن الجزء الأكبر من أحواض التخزين التى تنظمها وكالة حماية البيئة هى أحواض تخزين البترول التى تمتلكها محطات الغاز، والنسبة الأخرى الأكبر من أحواض تخزين البترول، هى تلك التى تملكها مجموعة من الصناعات (المطارات، وأساطيل الشحن، والمزارع، وعمليات التصنيع، وملاعب الجو لف)، التى تخزن المنتجات البترولية لإستخداماتها الخاصة.
فى العام 1986أسس الكونغرس صندوق دعم تنظيف أحواض التخزين الجوفية المعروف بصندوق دعم الخزانات الارضية المسربة leaking underground

(storage tanks). كذلك، إن وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة، والتى كلفت بمسؤولية إستكشاف، وتطوير، وتوزيع تقنيات التنظيف وآليات الدعم الجديده، ما زال يتوجب عليها أن تترك المهمة الأساسية في تنظيف مواقع الأحواض الجوفية المسربة للحكومات المحلية والولائية المتعددة. وأن مالكو ومشغلو منشآت الأحواض مسؤولون قانونيا عن تكاليف الدمار الذى تسببه أحواضهم، وهو ليس بالأمر الهين على أي حال. متوسط تكلفة معالجة موقع يحتوى على تلوث بترولي للتربة والمياه الجوفية يكون فى حدود 200,000– إلى 350,000 دولار أمريكي (القيمة الحالية)، وإعتماداً على المدى العمودي والجانبي للتلوث، وعلى مستويات التنظيف المطلوبة. فى بعض الحالات، قد تفوق قيمة التنظيف قيمة العقار.

حينما إبتدأت وكالة حماية البيئة والمحققون الآخرون فى التحقيق في مشكلة أحواض التخزين المسربة في العام 1985، وجدوا أن عمر عددٍ من أحواض التخزين الموجودة يفوق العشرين عاماً أو أنها ذات أعمار غير محددة. ومما ضاعف من مشكلة عمر الأحواض، أن الأقدم منها كانت مبنيّاً من الفولاذ الخالص، كما كانت غير محمية من الصدأ، وعلى مقربة من نهاية حيواتها المفيدة (هولمز Holmes، وسنغ Sing وثيودور Theodore 1993). ومما فاقم المشكلة، أيضا، أن عدداً من أنظمة الأحواض القديمة كانت قد وجدت مسربة أو على حافة التسريب. كما وجد عدد من الأحواض القديمة هذه فى محطات الوقود المهجورة (التى أغلقت بسبب أزمة النفط فى السبعينيات).

بسبب ما توصلت إليه وكالة حماية البيئة وآخرون حول مدى المشكلة التى تسببها أحواض التخزين الأرضية، وضعت متطلبات القوانين المنظمة. تعتمد متطلبات القوانين المنظمة لأحواض التخزين الجوفية على ما إذا كان النظام موجوداً سلفاً، أو كان حديثاً. ويعرف التنصيب الموجود سلفا بأنه النظام الذى نصب قبل العام 1988.

هنالك متطلبات معينة لأحواض التخزين الجوفية يتحتم إستيفاؤها فى الوقت الحاضر. يتحتم على كل الأحواض الجوفية الموجودة سلفا (أو المستخدمة حاليا) أن تكون محمية من الإمتلاء الفائض، ومن الإنسكاب. إضافة الى ذلك، يتحتم، أيضاً، تنصيب أنظمة حماية من التآكل والكشف عن التسريب، بحسب الجدول الزمنى الذى تفوضه التنظيمات الفيدرالية.
يضمن جدول الإمتثال هذا أن يتم التعامل مع الأحواض الأقدم (التي بها إحتمالية أكبر للفشل) أولاً.

تحت التنظيمات الفيدرالية (القانون الفيدرالي المنظم، الجزء 280)، يتحتم أن تزود كل الأحواض الموجودة بحماية من التآكل، ومن الإنسكاب، ومن الملء الفائض. كذلك ينبغي أن تكون كلا الأنابيب المضغوطة وأنابيب الإمتصاص التى تم تنصيبها قبل ديسمبر من العام 1988، قد تمت حمايتها من التآكل بحلول ديسمبر 1998.

من أجل تقييم سلامة حوض التخزين الجوفي، ينبغي أن يلتزم كل المالكين بمتطلبات تنظيمية معينة (المتطلبات الدنيا). وهذه المتطلبات المحدّده مدرجة ومشروحة فى الجدول 1.18.

بموجب القانون الفيدرالى، يتحتم أن تستجيب المنشآت ذات أحواض التخزين الجوفية التى تحتوى على البترول والمواد الخطرة للتسربات أو الإنسكابات خلال 24 ساعة، أوخلال أي فترة زمنية أخرى معقولة تحددها الوكالة المنفذة.

جدول 1.18 متطلبات أحواض التخزين الجوفية– ما يجب عليك فعله.

الكشف عن التلوث	
للأحواض الجديدة	يتحتم أن تتم مراقبتها بصورة شهرية. هذه الفحوصات قد تجرى بإستخد الآلي للحوض، مراقبة البخار، المراقبة الخلالية* (مراقبة الإحتواء الثانوي)، مراقب الجوفية، والطرق الأخرى المصدق عليها. أو قد تقوم بإختبار التحكم في الجرد وضيق الحوض السنوي كل خمسة أ حتى 10 أعوام من التنصيب)
بالنسبة للأحواض الموجودة سلفاً	المراقبة الشهرية أو إختبار التحكم في الجرد وضيق الحوض (يمكن إستخدامها فقط حتى ديسمبر 1998)، إختبار التحكم في الجرد وضيق الحوض السنوي كل خمسة أعوام (يمكن إستخدام هذا الخيار فقط لعشرة أعوام بعد إضافة الحماية من الصدأ والوقاية من الإنسكاب والملء الفائض، أو حتى ديسمبر 1998، أيهما أبعد).
الأنابيب المضغوطة الجديدة أو الموجودة سلفاً	إختيار أي من الآتي: * مضيقات الإنسياب الآلية. * الإختبار السنوي للخط. * أداة الغلق الآلية والمراقبة الشهرية (بإستثناء القياس الآلي للحوض). * نظام التنبيه المستمر.
أنابيب الإمتصاص الجديدة والموجودة سلفاً	إختيار إما المراقبة الشهرية (بإستثناء القياس الآلي للحوض) أو إختبار الخط كل ثلاثة أعوام.

* هي المراقبة التي تعني بالاحتواء الثانوي وتتم خلال أوقات وأزمان "interstitial" المراقبة الخلالية أو متفاوتة.

الوقاية من الصدأ	
الأحواض الجديدة	الخيارات: إما حوض مطلي ومحمي بالألياف الزجاجية بطريقة كاثودية، أو حوض فولاذي مكسو بالألياف الزجاجية.
الأحواض الموجودة سلفاً	الخيارات: نفس الخيارات كما هو الحال بالنسبة للأحواض الجديدة، أضف نظام حماية كاثودي، بطانية داخلية، وحماية كاثودية.
الأنابيب الجديدة	الخيارات: حوض مطلي ومحمي بالألياف الزجاجية بطريقة كاثودية
الأنابيب الموجودة سلفاً	الخيارات: نفس الخيارات كما هو الحال بالنسبة للأنابيب الجديدة، فولاذ محمية بطريقة كاثودية
الحماية من الإنسكاب و الملء الفائض كل الأحواض	أحواض التصفية –و– *أدوات الغلق الآلية –أو– *منبهات الملء الفائض –أو– *صمامات الكرة الطافية

40 القانون الفيدرالي المنظم، الجزء 280.

تكون الاستجابات الخاصة بانبعاثات احواض التخزين الجوفية محددة بكل موقع، وتعتمد على عدد من العوامل. ويتكون الفعل التصحيحى من مرحلتين. المرحلة الاولى (الإستجابة الإبتدائية) موجهة نحو التلوث وجمع المادة المنسكبة. والمرحلة الثانية (الإستجابة التصحيحية الدائمة) تشمل التحسينات الفنية التى تصمم من أجل ضمان عدم تكرار مثل هذا الحادث. تشمل تقنية الفعل الوقائى عادة إستخدام بروتوكولات الإحتواء، وحرف المسار، والإزالة، والمعالجة. يعتمد إختيار التقنية المستخدمة فى الوقاية من الإنسكاب وتصحيحه

على مدى صلاحيتها، وعمرها، وسهولة تنفيذها، وسهولة إجراء مراجعات الصيانة المطلوبة.

أصدرت وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة (1988) "تنظيف المواد المتسربة من أحواض تخزين البترول الجوفية: تقنيات مختارة"، الذى أصبح المرجع المعياري فى إتخاذ القرارات حول أي التقنيات سوف توظف من أجل إستخدامها فى تنظيف هذه المواد من أحواض تخزين النفط الجوفية. وعلى الرغم من أن عدداً محدوداً، فقط، من التقنيات متاحاً من أجل تنظيف الأوساط البيئية من الملوثات المرتبطة بالجازولين، إلا أن ميزاتها العملية، وكفاءتها فى الإزالة، وقصورها، وتكلفتها موثقة جيداً.

هنالك تقنيتان مستخدمتان حالياً للحد من هجرة الجازولين الطافى فى عملية إسترداد المنتج الحر من المياه الجوفية هما: تقنية الخندق (trench method)، ونظام بئر الضخ (Dumping well system). تتوفر مجموعة من المعدات المتنوعة للإستخدام فى حالة إسترجاع المنتج الحر بإستخدام طريقة الخندق، وتشمل هذه المعدات المقشدات (skimmers)، وفاصلات المرشح (filter separators)، وفاصلات الزيت من الماء (oil/water separators). وفى حالة طريقة بئر الضخ، تتوفر كل من أنظمة الضخ المنفردة والمزدوجة للإستخدام.

حينما يكون عمق مستوى المياه الجوفية ما بين 10–15 قدم تحت سطح الأرض، فإن طريقة الخندق تكون هي الأكثر فعالية. تشمل ميزات هذه الطريقة السهولة التى يمكن بها حفر الخندق، والمقدرة على قبض الطرف الأمامي من الريشة (plume) به. ومن عيوب هذه الطريقة أنها لا تعكس إنسياب المياه الجوفية، الشئ الذى يعني أنها قد لا تكون مناسبة للإستخدام حينما تكون إمدادات مياه الشرب عرضة للخطر. يكلف هذا النظام حوالى 150 دولاراً لكل ياردة مكعبة من التربة المحفورة.

حينما يكون الإنسكاب عميقاً (يزيد عمق مستوى المياه الجوفية على 20 قدما تحت سطح الأرض)، فإن نظام بئر الضخ (pumping well system) يكون هو الأسلوب المفضل لإسترجاع المنتج الحر من مستوى المياه الجوفية. الميزة الاساسية لإستخدام هذا النظام هي مقدرته على عكس إنسياب المياه الجوفية . وبالأخذ في الحسبان تكلفة العمالة والهندسة، يكلف هذا النظام ما بين 150- 15000 دولار أمريكي لكل قدم من الجدار الفولاذى المجلفن المعبأ بالحصا والذي يتراوح طوله ما بين 4-10 بوصة (وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة 1988).

هذا وتعد إزالة الجازولين المنسكب من التربة غير المشبعة المكون الأساسى لأي خطة فعل تصحيحى، لأن الجازولين المنسكب داخل التربة قد يجد طريقه فى نهاية المطاف إلى المياه الجوفية. تتوفر عدد من تقنيات الإزالة التى تتنوع فى كفاءتها وتكلفتها. وأكثر الطرق التصحيحية إستخداماً هى طريقة الحفر والتخلص. وتشمل الطرق الأخرى التطيير (volatilization)، والترميد (incineration)، والتنفيس (venting)، وغسل التربة وإستخلاصها، والتفكيك بواسطة الأحياء الدقيقة.

من ميزات إستخدام الحفر والتنقيب (excavation and disposal) أنها يمكن أن تكون فعالة بنسبة 100%. بينما عيبها الأساسى هو أنه لا يمكن إلا إزالة جزء صغير من التربة الملوثة بسبب التكلفة العالية، وقصور أدوات الحفر (بمقدور الحفارات أن تصل فقط إلى عمق 16 قدماً إلى الأسفل)، ومكبات النفايات التي قد لا تستقبل التربة الملوثة، ونقص الموجهات الموحدة للتخلص الأمثل من التربة الملوثة.

التطيير (volatilization) يزيل حوالى99 %من المواد العضوية بكفاءة، إلا أن هذه العملية ليس لها سجل ممتد (بسبب قلة إستخدامها) يسمح بالوصول لأحكام قاطعة، في ما يخص كفاءتها وفعاليتها فى هذا المجال.

الترميد (incineration)، مثله مثل التبخير، يزيل 99 % تقريباً من مكونات الجازولين فى التربة. وإنّ حرق التربة الملوثة بالجازولين ممارس على نطاق واسع، لإمكانية الإعتماد عليه بصورة جيدة. إلا أن مثل هذه الممارسة يشوبها بعض العيوب ومنها. إن التربة يجب أن تجلب الى السطح، الأمر الذي يزيد من خطر التعرض. أيضاً، تكون عملية الحرق مناسبة فقط حينما تكون هناك مواد سامة أخرى غير المواد المتطايرة. ولسوء الحظ قد يتسبب التأخير فى منح الأذونات (العقبات البيروقراطية) الخاصة بممارسة هذه الطريقة فى نشر أوسع للتلوث.

والميزة الكبيرة لإستخدام التنفيس **(venting)**، الذى يمكن أن تصل درجة كفاءته إلى 99%، أنه يسمح بإزالة الجازولين دون الحاجة إلى الحفر. ولم تعرف بعد المؤشرات الحرجة ذات الصلة بهذه التقنية فضلاً على أن عملية التنفيس ليست ممارسة على نطاق واسع ومن المعروف أن عملية التنفيس سهلة التطبيق نسبياً، إلا أن فعاليتها غير مؤكدة، لأن خصائص التربة قد تعوق الحركة الحرة للأبخرة، وربما أدت الى خطر إنفجار.

غسل التربة وإستخلاصها (soil washing and extraction) تعمل هذه التقنية على ترشيح الملوثات من التربة، ومن ثم إزالة الملوثات بالطرق المعتادة. وبهذه الطريقة يمكن إزالة 99 % من المواد العضوية المتطايرة تحت الظروف المثالية. وإذا أحتوت التربة الملوثة على مستويات عالية من الطين والغرين، فإنها قد تعوق فصل المادة الصلبة من السائلة بعد إنتهاء طور الغسل. ويتوجب الإستيثاق أولاً من صلاحية التربة لإزالة التلوث عنها بهذه الطريقة.

التفكيك بواسطة الأحياء الدقيقة (microbial degradation) يمكن، نظرياً، أن تزيل هذه الطريقة ما يصل الى 99% من الملوثات. هذه الطريقة لازالت فى طور الأبحاث، ومازالت إمتيازاتها العملية قيد التطوير لذلك لم يتم

الإستيثاق من فعاليتها الإقتصادية بعد. فإذا دعمت الإختبارات الإضافية جدوى إستخدام هذه الطريقة في الحقل، فإن ميزتها سوف تكون إمكانية المعالجة الموضعية للتربة مع تدمير كامل للمواد المتطايرة.

تقنية التحكم فى التلوث

Pollution Control Technology

معالجة المياه الجوفية

Ground water remediation

مما ينبغي تذكره أن المياه الجوفية هى مصدر مائي مهم، يوفر نسبة عظمى من مياه الشرب. لسنين خلت، لم تكن المياه الجوفية مصدر مياه الشرب الوحيد في بعض المناطق; حسب بل كانت أيضاً، المصدر المفضل، وحتى عند توفر المصادر الأخرى، بسبب إعتقاد الناس في نقائها. ظل الناس يعتقدون، لعدد من السنين، أن المياه الجوفية هى أكثر سلامة فى الإستخدام من غيرها أو أنها تحتاج فقط للتعقيم قبل أن ترسل إلى صنابير المنازل. ولقد عرف معظم الناس أيضاً أن المياه الجوفية تُغذى من الأمطار، والمطر المتجمد والثلج. وما أن يصل الترسب إلى السطح، حتى يدخل إلى الصخر، والتربة، ويتم ترشيحه وهو ماضٍ فى طريقه عبر طبقات الأرض حتى يصل المياه الجوفية، حيث يتم الحفاظ عليه فى حالة (نظيفة)، وبسبب طبيعة حبسه هناك، فإنه يكون محمياً من التلوث السطحي.

في هذه النظرة الخاطفة الى المياه الجوفية يتبلور عدد من المشاكل. فى المقام الأول، ولأن المياه الجوفية مستخدمة على نطاق واسع، وأن أعداد السكان التى تستخدمها تزيد بمعدل ثابت، فإن عدداً من إمدادات المياه الجوفية قد نضبت، أو إنخفضت مستوياتها فى المناطق الساحلية لدرجة أن المياه المالحة قد تطفلت عليها. ثانياً، إمددات المياه الجوفية قد تصبح ملوثة.

إن كلاً من نضوب المياه الجوفية وتلوثها قد يكون غير قابل للإنعكاس. وقد يؤدى النضوب إلى اندماج مكامن المياه الجوفية، منقصاً بذلك من سعتها التخزينية.

إن المواد الموجودة فى الطبيعة، والأخرى المصنعة كلاهما يؤدي إلى تلوث المياه الجوفية. كما أن كل شئ يأتي بتماس مع الماء سوف يذاب أو يختلط معه. وإذا تلوثت المياه، فإنها على الأرجح سوف تظل على تلك الحال.

تكون موائع الطور غير المائي ذات أهمية خاصة فى تلوث المياه الجوفية. وتصنف هذه الموائع إما إلى موائع طور غير مائى خفيفة (light LNAPLs)، أو موائع طور غير مائى كثيفة ((dense (LNAPLs). تشمل موائع الطور غير المائى الخفيفة منتجات الجازولين، وزيت التسخين، والكيروسين. وبسبب الإستخدام الواسع الإنتشار لأحواض التخزين الجوفية، فإن هذه المنتجات شائعة الوجود فى عدد من أنواع التربة. وبسبب خفة موائع الطور غير المائى الخفيفة، فإنها تميل للطفو على سطح المياه الجوفية مخترقة الحد الشعري (Capollary limit) وخافضة من شد سطح الماء. حتى حينما يتم التحكم في مصدر الإنسكاب، سوف تظل التربة ملوثة وستظل الطبقة الطافية مصدر تلوث طويل الأمد (مكجي 1991).

من وجهة نظر صحية، تمثل موائع الطور غير المائى الخفيفة مشكلة أكثر جدية بكثير. وتشمل هذه الموائع ثلاثي كلور الإيثان، ورباعى كلوريد الكربون، والكريوسوت، وثنائى كلوريد البنزين، ومواد أخرى. ولأن هذه المواد سامة ولها لزوجة منخفضة، وكثافة عالية، وذوبانية منخفضة فإنها لا تشكل خطراً على الصحة فحسب، بل إنها أيضاً ذات حركة شديدة فى المياه الجوفية، كما أنها تنتشر بسرعة على إمتداد مكمن المياه الجوفية المتوضع.

فى معالجة وتخفيف المياه الملوثة، تحتاج مناطق معينة من مكمن المياه الجوفية لإستصلاح وإعادة تأهيل لأن إنتشارالملوثات عادة ما يكون محصوراً فى الريشة.

أوضحت التجربة أنه حتى بعد إزالة المصدر الاصلي للتلوث، فإن تنظيف مكمن المياه الجوفية الملوث يكون مكلفاً، ومستهلكاً للوقت ومثيراً للمتاعب. وتشمل مشاكل التنظيف، صعوبة التُعَّرف على البيئة التحت سطحية، وتحديد مواضع التلوث المحتملة، وتعريف المسارات الممكنة لإنتقال الملوثات، وتحديد مدى التلوث، وتراكيز الملوثات، وإختيار وتنفيذ عملية معالجة فعالة (ديفيز وكورنويل 712،1991).

إن عملية التنظيف ممكنة، إلا أنها غير بسيطة. ولقد أثبتت بعض الطرق فائدتها فى بعض الحالات (خصوصا عندما تضخ المياه الجوفية من الطبقة تحت السطحية). ولقد تم صقل هذه الجهود من العمليات المستخدمة في معالجة النفايات الصناعية، إلا أن محاولة معالجة تلوث المياه الجوفية الخاص بالموقع بإستخدام هذه الطرق عادة ما يكون مربكاً. أيضاً، تملي الملوثات نوعية الوسائل التى ينبغي أن تعمل بنجاح في عملية تخفيفها. فحينما يكون الملوث مادة كيميائية واحدة، فإن نظام المعالجة المستخدم قد يكون بسيطاً. إلا أن عملية المعالجة قد تكون معقدة جداً في الحالات التى تشمل عدداً من الملوثات. وحدها العينات الممثلة والتحاليل المختبرية هي القادرة على توفير المعلومات التي نحتاجها، من أجل تحديد أي أنواع المعالجة ينبغى إستخدامه. تشمل تقنيات التنظيف الشائعة المستخدمة مع المياه الجوفية الملوثة بالمواد العضوية تعرية الهواء (air stripping) والكربون المنشط. وتستخدم عملية الترسيب الكيميائى للمواد غير العضوية فى المياه الجوفية. وسوف يتم وصف كل واحدة من عمليات المعالجة هذه في ما يلى.

فى تعرية الهواء (air stripping) (وهى عملية نقل كتلة، بسيطة نسبيا) تنتقل مادة من محلول فى الماء إلى محلول فى الهواء (أي من الطور السائل إلى الطور الغازي). تستخدم طريقة تعرية الهواء أربع تكوينات لمعدات أساسية تشمل التهوية المنتشرة (diffused aeration)، والأعمدة المعبأة للتيار

العكسى (countercurrent packed columns)، وأبراج الانسياب البينى (cross-flow towers)، ومهويات صواني فحم الكوك (coke tray aerators). **لأعمدة التيار العكسى** المعبأة مميزات مهمة (توفر أكثر الطبقات البينية سيولة كما توفر نسب حجم ماء إلى هواء عالية) وذلك عند مقارنتها بالأنظمة الأخرى، وتستخدم غالباً في إزالة المواد العضوية المتطايرة من المياه الجوفية الملوثة.

إمتصاص الكربون (carbon adsorption): يحدث عندما يجلب الجزيء العضوي الى سطح جزئيات الكربون المنشط، ويظل محبوساً هناك بواسطة قوى فيزيائية و/أو كيميائية. يحدث إمتصاصاً المواد الكيمائية العضوية حينما توضع جسيمات الكربون المنشط في ماء يحتوي على مواد كيمائية عضوية وتمزج لإحداث تماس كاف. يتم إستخدام الكربون المنشط بنجاح في إزالة المواد العضوية من المياه الجوفية الملوثة.

المعالجة الحيوية (biological treatment): (تقنية جديدة ما زالت تحت التقييم عن طريق الدراسات التجريبية) تعمل على إزالة وتخفيف تراكيز المركبات العضوية والمركبات غير العضوية. ولكي تخضع للمعالجة الحيوية، يجب أن تعالج المياه الملوثة قبلاً لإزالة السموم التي يمكن أن تدمر هذه الكائنات التي يحتاج إليها من أجل الأيض وإزالة الملوثات.

أن الطريقة الأكثر شيوعاً والمؤسسة على إزالة الملوثات غير العضوية هي **عملية الترسيب الكيميائي (Chemical Precipitation)**. يتم إنجازها عن طريق إضافة الكربونات، والهيدروكسيدات، أوكيميائيات الكبريتيد. وقد نجحت هذه الطريقة في إزالة المعادن الثقيلة من المياه الجوفية.

حينما تكون المياه الجوفية على مقربة من نظام ماء شرب ملوث فأن أكثر الطرق شيوعاً لحماية الماء من ريشة المياه الجوفية الملوثة المحدقة هي إستخدام خليط من آبار الإستخلاص (extraction wells) وآبار الحقن

(injection wells). تستخدم آبار الإستخلاص لخفض مستوى المياه الجوفية، منشأة بذلك تدرجاً هيدروليكيا يسحب الريشة إلى الآبار. ترفع آبار الحقن من مستوى المياه الجوفية وتدفع الريشة بعيداً. بالعمل سويةً، ويمكن ضبط معدلات ضخ آبار الإستخلاص وآبار الضخ بطريقة تسمح بإستغلال التدرج الهيدروليكي الذي يسمح بالحفاظ على الريشة بعيداً عن بئر مياه الشرب، ساحباً إياها إلى بئر الإستخلاص. وما أن يتم إستخلاص الماء الملوث، حتى تتم معالجته ثم يعاد حقنه في مكمن المياه الجوفية، ويعاد إستخدامه أو يعاد إطلاقه في نظام المياه السطحية المحلي (ماسترز 1991).

خلاصة الفصل Chapter Summary

يقدم تنظيف المياه الملوثة مشكلة معقدة لنا. إذ إن المناطق الملوثة عادة ما تكون غائبة عن الأنظار وعصية على التعريف الواضح. وعلى الرغم من أن التقنيات أضحت أكثر فعالية، إلا أنها أضحت أكثر تكلفة كذلك. من دون وجود وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة كحارس وفارض للقوانين، ومن دون (SDWA) والقانون الفيدرالي للتحكم في تلوث المياه، ومن دون الضغط من قبل المواطنين المعنيين حول نوع وجودة مواردنا المائية، فإن أسلوباً له صلة ب" ليس في باحتي الخلفية" أو أنها ليست مشكلتي، إنها مشكلة شخص آخر" سوف يبدأ في التسلل. لحسن الحظ فإن الناس أصبحوا أكثر إدراكاً بأن إمدادات المياه الملوثة سوف تؤثر علينا جميعاً.

أسئلة ومسائل نقاش Discussion Questions and Problems

1. أكتب قائمة بالمكونات الأساسية لمياه الصرف الصحي
2. صف مكونات المعالجة أ. الأساسية، ب. الثانوية، ج. الثالثية.
3. هل يجب حظر حقن النفايات الخطرة في الآبار الجوفية. لماذا؟

4. كيف يزيد الري من درجة الملوحة.
5. لماذا تشكل إدارة مياه الأمطار مشكلةً في المناطق الحضرية أكثر منها في المناطق الريفية.
6. صف العمليات الأساسية، والثانوية، والثالثية لمعالجة مياه الصرف الصحي.
7. ما هو التلوث الحراري؟ وكيف يمكن التحكم به؟
8. كيف تصبح المياه الجوفية ملوثةً؟ صف ثلاث من التقنيات المستخدمة في التحكم في تلوث المياه الجوفية.
9. تزيل كلاً من معالجة المواد الصلبة الحيوية المنشطة للنفايات والموارد الطبيعية في الجداول والأجسام المائية المواد القابلة للتحلل عن طريق التحلل الحيوي. هل معالجة المواد الحيوية الصلبة المنشطة أكثر فعالية من عملية التنقية الذاتية للجدول؟ إشرح.
10. كيف يتم تنعيم الماء العسر في عملية معالجة الماء؟
11. صف ثلاث طرق لإستيفاء معايير حماية أحواض التخزين الجوفية من التآكل.
12. يشكل التلوث البيئي من أحواض التخزين الجوفية المسربة خطراً كبيراً على صحة الإنسان وعلى البيئة. إشرح.

مواضيع ومشاريع بحث مقترحة

Suggested Research Topics and Projects

- تفحص منظمات معنية بالحفاظ على البيئة وحمايتها– رفر كيبر، نادي سييرا، جربنبيس، الخ.
- تفحص الحوجة إلى والتأثيرات الناتجة عن SDWA لعام 1974>
- تفحص الحوجة إلى والتأثيرات الناتجة عن قانون الماء النظيف القانون الفيدرالي للتحكم في تلوث المياه لعام 1972.

- إجر بحثاً عن المشاكل المتعلقة بفرض القوانين المنظمة
- تفحص التحكم بالملوثات في مياه الشرب
- تفحص مجتمعك (بحثاً) عن مصادر مياه الصرف الصحي. بوب، وصنف هذه المصادر وإنتاجها المحتمل للنفايات، إعتماداً على ما تفعله، وإعتماداً على الملوثات الفيزيائية والكيميائية الموجوده بها.
- قم بجولة في منشأة لمياه الصرف الصحي وتعقب سبع خطوات داخلة في المعالجة.
- تفحص المشاكل الداخلة في معالجة أحواض التخزين الجوفية التي تشكل خطراً جدياً على إمدادنا المائي.
- إجر بحثاً عن إستجابة الصناعة البترولية لمشكلة أحواض التخزين الجوفية.
- إحسب التكلفة (التقديرية) الداخلة في عملية تنظيف موقع حوض تخزين جوفي.
- تفحص العمليات المستخدمة في تنظيف إنسكاب منتج نفطي.
- إجر بحثاً عن التنفيس كتقنية معالجة فعالة للتلوث الغازي.
- إجر بحثاً عن المشاكل المرتبطة بمعالجة تلوث المياه الجوفية.

المراجع المثبتة
Cited References

Cronin, J., and R. K. Kennedy Jr. *The Riverkeepers*. New York: Scribner, 1997.

Davis, M. L., and D. A. Cornwell. *Introduction to Environmental Engineering*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1991.

EPA. *Cleanup of Releases from Petroleum USTs: Selected Technologies*. April 1988.

Holmes, G., B. R. Singh, and L. Theodore. *Handbook of Environmental Management & Technology*. New York: Wiley, 1993.

Masters, G. M. *Introduction to Environmental Engineering and Science*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1991.
McGhee, T. J. *Water Supply and Sewerage*. 6th ed. New York: McGraw-Hill, 1991.

المراجع المقترحه
Suggested References

American Society of Civil Engineers. *Management of Water Treatment Plant Residuals*. New York: American Society of Civil Engineers, 1996.
Canter, L. W., and R. C. Knox. *Ground Water: Pollution Control*. Chelsea, Mich.: Lewis Publishers, 1990.
Carmichael, J., ed. *Industrial Water Use and Treatment*. New York: Tayler and Francis, Inc., 1986.
Comella, P. A. "Waste Minimization/Pollution Prevention." *Pollution Engineering* 22, (April 1990).
Conservation Foundation. *Groundwater Pollution*. Washington, D.C.: Conservation Foundation, 1987.
Consumer Reports Books Editor, and R. Gabler. *Is Your Water Safe to Drink?* New York: Consumer Reports Books, 1987.
Driscoll, F. G. *Groundwater and Wells*. 2nd ed. St. Paul, Minn.: Johnson Division, 1986.
EPA. *Basics of Pump-and-Treat Groundwater Remediation Technology*, 1990.
———. "Drinking Water in America: An Overview." *EPA Journal* (September 1986).
———. *Environmental Progress and Challenges: EPA's Update*, August 1988.
———. *Handbook—Remedial Action at Waste Disposal Sites* (Revised). 1985.
———. *Underground Storage Tank Corrective Action Technologies*, January 1987.
Freeze, R. A., and J. A. Cherry. *Groundwater*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1979.
Griffin, R. D. *Principles of Hazardous Materials Management*. Ann Arbor, Mich.: Lewis Publishers, 1988.
HDR Engineering. *Handbook of Public Water Systems*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1997.
Horan, N. J. *Biological Wastewater Treatment Systems: Theory and Operation*. New York: Wiley, 1990.
Josephson, J. "Restoration of Aquifers." *Environmental Science and Technology* 17 (1983): 347A–350A.
King, J. *Troubled Water*. Emmaus, Pa.: Rodale Press, 1985.
National Academy of Sciences. *Groundwater Contamination*. Washington, D.C.: National Academy Press, 1984.
Office of Technology Assessment. *Protecting the Nation's Groundwater from Contamination*. Washington, D.C.: Government Printing Office, 1984.
Pettyjohn, W. A., ed. *Protection of Public Water Supplies from Ground-Water Contamination*. Park Ridge, N.J.: Noyes Data Corporation, 1987.
Roques, H., ed. *Chemical Water Treatment: Principles and Practice*. New York: VCH Publishers, 1996.
"Rules and Regulations." *Federal Register* 52, no. 185 (September 1988).
Viessman, W., Jr., and M. J. M. Hammer. *Water Supply and Pollution Control*. 4th ed. New York: Harper & Row, 1985.
Welch, E. B. *Groundwater Systems Planning & Management*. Cambridge: Cambridge University Press, 1980.
Wentz, C. S. *Hazardous Waste Management*. New York: McGraw-Hill, 1989.

الجزء الرابع

جودة التربة

الفصل التاسع عشر

خصائص التربة

Soil Characterstics

التربة مهمة جداً للحياة على الأرض... تحدد جودة التربة طبيعة الأنظمة البيئية النباتية ومقدرة الأرض على دعم الحياة الحيوانية ودعم المجتمع. مع التمدين المتزايد للمجتمعات الإنسانية، يصبح للقليلين فقط إتصال حميم مع التربة، ويميل الأفراد إلى الغفلة عن الطرق العديدة التي يعتمدون بها على التربة من أجل إزدهارهم وبقائهم. إن التربة سوف تزيد على الأرجح، في المستقبل بدل أن تنقص. وبالطبع، سوف تستمر التربة في إمدادنا بكل غذائنا تقريباً وبعناصر بقائنا.

في يوم صيفي حار، هل سوف تفضل أن ترتدي قميصاً قطنياً أم آخر مصنوعاً من البوليستر؟ إضافةً إلى ما سبق، فإن الكتلة الحيوية التي تنبت على التربة سوف تصبح، علي الأرجح، مصدراً متزايد الأهمية للطاقة وللمعالف الصناعية، مع نضوب الموارد النفطية المحدودة للعالم خلال القرن القادم. يمكن رؤية العلامات الأولى لهذه النزعة في أخبار حب الصويا المبنية على النفط، وفي بلاستيك نشا الذرة، وفي وقود الخشب الكحولي التي أصبحت ذات أهمية متزايدة في السوق.

برادي و ويل 199، 2

أهداف الفصل

Chapter Objectives

بعد دراسة هذا الفصل ينبغي أن تكون قادراً على أن:

- تتعرف على مراحل تعاقب الصخور العارية، و أن تصف العملية.
- تصف أهمية التربة كوسط بيئي.
- تصف طبقات التربة المتعددة، ما الذي يكونها؟، و كيف تكونت؟.
- تتعرف على و تناقش خواص التربة، والمعلومات التي يمكن أن يوفرها أفق التربة.
- تصف كيف و أين يكون جسر فرجينيا الطبيعي.

Chapter Outline خطة الفصل

- وصف: تعاقب الصخور العارية.
- تعريف ومناقشة: التربة، و تصنيفات إستخدام التربة
- تعريف ومناقشة: طبقات التربة.
- تعريف ومناقشة: كيف يؤثر القوام، والإنحدار، والميل ، والمادة العضوية على جودة التربة.
- تعريف ومناقشة: تفاعلات تكوين التربة الفيزيائية، والكيميائية، والأحيائية.
- وصف ومناقشة: تاريخ وتكوين جسر فرجينيا الطبيعي.

Key Terms المصطلحات الرئيسية

bare rock succession	تعاقب الصخور العارية	aggregate	تجمع
friable	هش	chemical weathering	التجوية الكيميائية
parent material	المادة الأم	morphogenesis	تحول الشكل الظاهري
peds	وحدات بنية التربة	pedologist	عالم تربة
slope	الميل	physical weathering	التجوية الفيزيائية
soil forming process	عملية تكوين التربة،	soil	التربة
soil structure (tilth)	قطاع عمودي للتربة،	soil horizon	أفق التربة
soil texture	قوام التربة	soil structure	بنية التربة
top soil	التربة الفوقية	subsoil	التربة التحتية
zone of weathering	منطقة التجوية.	weathering	التجوية،

مقدمة

Introduction

إذا أعيد الإنسان المعاصر إلى الوراء في الزمن، فإنه سوف يتعرف فوراً على البنية المهولة الماثلة أمامه، على الرغم من أنه سوف يؤخذ من هول ما يرى: مدى من جبال حديثة التكوين ذات كتلة جسيمة وسفوح منحدرة، وإرتفاع يصل بلا شك إلى ما هو أعلى من أي سحابة. سوف يحس أيضاً برابط يربطه في الحال بقمة محددة، القمة الأطول والأضخم. الجسم ذو الشكل المتعدد الأضلاع، بقاعدته المتعددة الأضلاع ووجوهه المثلثة التي تنتهي بقمة منفردة حادة الأطراف، كان ليبدو معتاداً وقريباً في شكله على الرغم من أنه أكبر حجماً من أضخم الأهرام المصرية العظيمة، على الرغم من أن الأهرام كانت مغطاة بملاءة من الحجر الكلسي، وليس بالملاءة السميكة الدائمة من الثلج والجليد التي غطت قمة الجبل.

لكن إذا مشى الإنسان على الموقع ذاته في الأزمنة الحديثة، وإذا عرف ما انتصب يوماً على هذا الموقع، فإن التغييرات سوف تبدوا واضحةً، ومذهلةً، ونسبية للزمن بصورة كاملة. ما إنتصبت يوماً كقمة جبل لا تقارن منذ دهور خلت، لا يمكن أن ترى اليوم في عظمتها الغابرة. و في الواقع لم يكن الإنسان الحديث ليلقي بفكره إليها مرتين، و هو يمشي عبر بقاياها و عبر النباتات التي نمت من بقاياها المسحوقة و المعدلة.

قبل ثلاثة ملايين عام، إنتصبت قمة الجبل ذات الشكل الهرمي في روعة مكتملة، غير متحداة فوق السحب، ملفوفة بعباءة من الثلج، كحصن مهيب من

الحجر لا يمكن لأي شئ –في ما يبدو– أن يهدده، منتصبةً كأطول الجميع، أعلى من أي جبل حدث و أن أنتصب، أو سوف ينتصب على الأرض.

وكذلك ظلت، منتصبةً لملايين فوق ملايين من المرات التي دارت فيها الأرض حول الشمس. ظلت القمة الشبيهة بالهرم، المولودة لحظة أن أخذت أمنا الأرض نفساً عميقاً، منتصبةً من دون أن يزعجها شئ لملايين السنين التي تلت، حتى تمطت أمنا الأرض. اليوم كنا سندعو هذا التمطي المهول زلزالاً– لم يشهد الإنسان لمقداره مثيلاً. و بدلاً من أن يسجل على مقياس رختر، كان ليدمر هذا المقياس. لكن حينما كسر هذا الزلزال الهائل سطح الأرض، لم يكن هناك وجود لما كنا سندعوه حياة ذكية تعيش على الأرض– وهذا شئ جيد.

خلال هذه الثورة الهائلة، إرتجفت القمة من أساسها، و بعد موجة الإهتزاز الإبتدائية، و موجات الإهتزاز الإرتدادية التي ربت على المائة، كان الجرانيت الصلب قد تشقق. هذا التشقق الهائل، كان ضخماً لدرجة أن كل هزة إرتدادية وسعت منه، و هل هلت أساس القمة ذات الشكل الهرمي. بعد مرور 1,000 عام فقط (التي تمثل ثواني معدودة بالنسبة للزمن الجيولوجي) غيرت آثار التشقق من شكل القمة بصورة كاملة، وإلى الأبد. خلال عاصفة مروعة، ذات شدة معروفة ،فقط، في أيام الأرض الباكرة، وسعت هزة حادة (منبعثة من أعماق الأرض، وضاربة العمود الفقري للجبل ذاته) الجرح الغائر أكثر.

مرت عقود من الإهتزازات، و العواصف الفظيعة المستمرة (التي لم يكن أي بنيان من أبنية يومنا هذا ليتحمل نفخة من مثلها); وأخيراً سقطت أعلى قمة في ذلك الزمان، وفي كل زمان. إنكسرت القمة من أساسها، متبعة قواعد الجاذبية (التي هي بالطبع قوة فعالة و جبارة في ذلك الزمان كما هي اليوم) هوت من ذروتها، وسقطت لأكثر من 20,000 قدم، إلى الأرض مباشرة. واصطدمت بالقاعدة المتوسعة للمدى الجبلي، محطمةً بقوتها الساحقة المحطمة للأرض عدة الآف من الهكتارات. وأستقرت أخيراً (أو ما بقي سالماً منها) على نتوء شديد الإنحدار، يقع على إرتفاع 1500 قدم. إستقرت القمة ذات الشكل الهرمي، و التي أضحت أصغر بكثير الآن، جاثمة بصورة غير مستقرة على النتوء شديد الإنحدار لحوالي 5 ملايين عام.

لا شئ ، لا شئ على الإطلاق بمأمن من الزمن. وأقل القوانين الطبيعية رحمةً هو قانون الإنتروبيا. الزمن و الإنتروبيا يعنيان التغير والإضمحلال قاسي، وفي بعض الأحيان وحشي، الا أنه لا مفر منه. الشكل الصخري الذي ما زال ضخماً، و المليئ بالكدمات، و الندب، والقطوع الذي كان ذات مرة قمة مهيبة أصبح الآن ضحيةً لطرق الطبيعة. تعمل الطبيعة و معها حليفها الرئيسي الزمن إلى جانبها على تفكيك أي شئ، و كل شئ له مادة و شكل. للأحسن أو إلى الأسوأ، أثناء عملها هذا تكون الطبيعة عديمة الرحمة، ووحشية أحياناً، ودائما لا يمكن تفاديها، إلا أنها لا تكون أبداً بلا هدف.

بينما كانت تلك الصخرة العظيمة مستريحةً على ذلك النتوء، على إمتداد تلك الخمسة ملايين من السنين، ظلت معرضةً بإستمرار للظروف دائمة التغير.

لعدة الآف من السنين، كان مناخ الأرض دافئاً بصورة غير معتادة– كان إستوائياً تقريباً– في كل مكان. على إمتداد هذه الحقبة الدافئة، لم تكن الصخور مغطاةً بالثلج والجليد، بل كانت محمصة، بدلاً عن ذلك، بالحرارة الشديدة، و مبخرةً في الأمطار الساخنة، ومحروقةً بالعواصف الرملية الثقيلة التي كانت تثور و تطلق ضراوتها الكاشطة، ناحتةً سطح الصخر في كل يوم لمدة تزيد عن العشرة آلاف عام.

ثم أتى زمن حدث فيه توقّف مؤقت للعواصف و الثورات اللانهائية للكوكب الشاب: فترة زمنية لم يكن الجو فيها حاراً كالتنور أو بارداً كالقطب الجليدي، كان الجو معتدلاً. كانت هذه الصخرة ما زالت معرضةً لضوء الشمس، و لكن عند درجات حرارة أكثر إنخفاضاً، و لهطول الأمطار بمستويات متزايدة، و لعدد أقل من العواصف ذات الضراوة المتزايدة. ظل المناخ على ذلك الحال لبعض السنين– ثم أعادت الدورة نفسها– برودة كبرودة القطب الجليدي، دفء معتدل، سخونة كسخونة التنور– و تستمر الدورة.

خلال آخر هذه الدورات، صغر حجم و شكل الصخرة، التي تأثرت بشده بالتعرض الفيزيائي والكيميائي أكثر. الصخرة، التي أضحت الآن أصغر بكثير عن وقت أن حطت على النتوء، والتي أصبحت محض حصاة بالمقارنة مع حجمها السابق، هوت 8000 قدم إلى قاعدة المدى الجبلي، وأستراحت على قاع من نباتات التالوس.

في وقت ما حوالي العام 1500 ق. م، إنشق، وتكسر الشكل الصخري، الذي ظل معرضاً بإستمرار للتجوية الكيميائية والميكانيكية، والذي أضعفت سقطاته الغابرة بنيته الفيزيائية، إلى صخور متناهية الصغر، إلى أن أصبح حجم أكبر الشظايا التي سلمت، من الصخرة الأصلية، لا يتجاوز حجم منزل مكون من أربع غرف. إلا أن التغير لم يتوقف، كذلك لم يتوقف الزمن، الذي ظل مندفعاً حتي أختزلت الصخور، بفعل عملية التحلل الطويلة البطيئة هذه، إلى ما يقارب 10 اقدام مربعة (في فترة زمنية تقارب تلك التي كان الفراعنة يبنون فيها أهرامهم).

على امتداد الألف سنة التي تلت، إستمر حجم الصخرة في التضاؤل، وأصبحت بالية، و منكمشة، ومتقشرة، ومحاطة بشظايا ذاتها السابقة إلى أن أصبحت في حجم كرة الشاطئ. مغطاة بالطحالب والحزازيات، ونسجت عبر كامل كتلتها شبكة من الصدوع، والشقوق الدقيقة ، والكسور.

وعلى امتداد الألف سنة التي تلت ذلك أو ما يقارب تلك الفترة، وعبر تعاقب الصخور العارية، تم إختزال ما كان يوماً أُمَّ كل قمم الجبال، وأعلى النقاط على الأرض إلى لا شئ أكثر من حفنة من التربة. كيف حدث هذا؟ وما هو تعاقب الصخور العارية؟

إذا تمت تعرية طبقة من التربة بصورة كاملة من الأرض، عن طريق الطبيعة (الماء، الريح، الخ...)، أو عن طريق الأنشطة البشرية (الحرث و التآكل)، أو عن طريق حدث كارثي (إنهيار أرضي ضخم، أو زلزال)، فإنه فقط ، وبعد عدد من السنين، يمكن لهذه المنطقة المعراة من التربة أن ترجع إلى وضع ما يقارب

حالتها الأصلية، أو يمكن لصخرة عارية أن تتحول إلى تربة. لكن إذا ما توفر الوقت اللازم–الف عام، ربما– فإن الندوب سوف تلتئم، وسوف تتكون طبقة بكر من التربة في المكان الذي كانت توجد فيه الصخرة العارية وحدها. تدعى هذه السلسلة من الأحداث، التي تحدث في عملية الترميم هذه، عملية تعاقب الصخور العارية (**Bare Rock Succession**). وهي بالفعل "تعاقب" حقيقي – ذو مراحل يمكن التعرف عليها. كل مرحلة في هذا النسق تتحكم بالمجتمع الموجود بينما تخلف الحالة التي وجدت قبلاً.

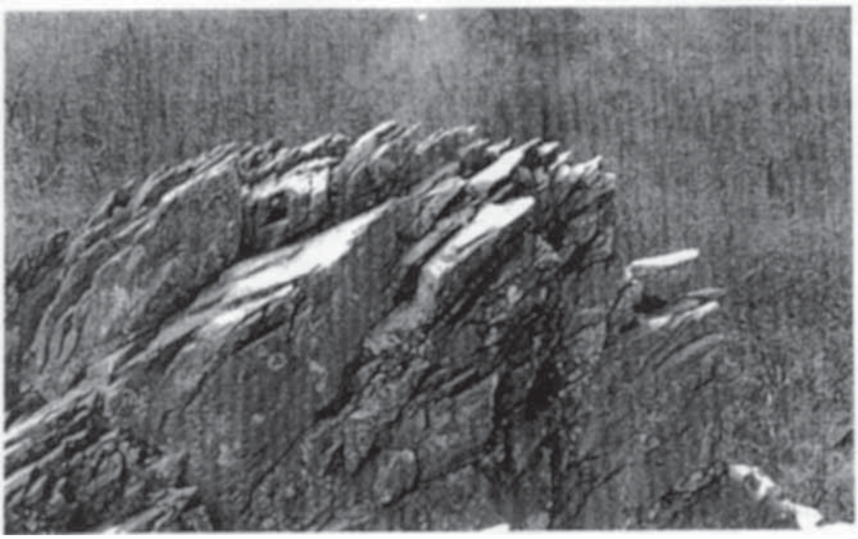
بغض النظر عن الطريقة التي توضع بها الصخور العارية ،مفتوحة للعيان، فإنها تكون معرضة للجو. تبدأ العملية الجيولوجية التي تتسبب في التجوية في تكسير السطح إلى شظايا أصغر فأصغر . توجد عدة أشكال للتجويه، وكلها تختزل سطح الصخور العارية إلى جسيمات أصغر، أو إلى مواد كيميائية في محلول .

يبدو أن الحزازيات هي التي غطت الصخرة العارية أولاً. نمت هذه النباتات الجسورة على الصخرة ذاتها (إنظر الشكل 19-1). وتنتج من هذه النباتات أحماضاً ضعيفة ساعدت في التجوية البطيئة لسطح الصخرة. وحبست الحزازيات أيضاً جسيمات التربة التي تحملها الرياح، والتي سوف تنتج طبقة رقيقة جداً من التربة في نهاية المطاف. لقد أدى هذا التغيير في الظروف البيئية إلى حدوث المرحلة التالية من تعاقب الصخور العارية.

حلت الطحالب محل الحزازيات، ونمت على التربة الهزيلة التي وفرتها الحزازيات والتجوية. انتجت الطحالب مساحة نمو أكبر، احتجزت جسيمات تربة

أكثر، ووفرت سطح صخرة عارية رطوبة أكثر. هذا المزيج من التربة الأكثر والرطوبة يرسي ظروفاً لا إحيائية تسهل حدوث مرحلة التعاقب التالية. ثم غزت بذور النباتات العشبية الآن ما كان صخرة عارية ذات مرة. فرضت الأعشاب والنباتات المزهرة سيطرتها. وأضيفت المادة العضوية من أنسجة النباتات الميتة إلى التربة الرقيقة، بينما تواصلت عملية التجوية من أسفل، وانضمت كائنات حية أكثر فأكثر إلى المجتمع الذي أصبح أكثر تعقيداً بكثير.

بحلول هذه المرحلة، يصبح المجتمع النباتي والحيواني معقداً إلى حد كبير. ثم يأتي الغزو الرئيسي التالي من قبل شجيرات الأعشاب الضارة التي يمكنها أن تصمد في وجه كميات التربة والرطوبة الموجودة . مع مرور الزمن، تتسارع عملية بناء التربة مع غزو نباتات وحيوانات أكثرللمنطقة. وبعد قليل تضرب الأشجار بجذورها ويبدو التعاقب الغابي جلياً . يحتاج بالطبع إلى عدة سنين قبل أن تنمو غابة مكتملة هنا، إلا أن المسرح يكون مهيأً لحدوث ذلك (توميرا 1989).



الشكل 19-1 المرحلة الاولى من تعاقب الصخرة العارية:

حزازيات تنمو على صخرة عارية.

الصورة لف. ر. سبلمان

اليوم ، لم يتبق سوى بقايا القمة ذات الشكل الهرمي السابقة، التي لا نظير لها. تربة – تربة معبأة بالدبال العضوي، تربة تبدو كالطين حينما تكون مبتلة، ويظن معظم الناس أنها فقط قبضة من التراب، حينما تكون جافة.

التربة: ماهي؟

Soil: what is it?

في أي مناقشة عن التربة (الوسط البيئي الثالث)، ينبغي إبتداءً أن نصف، ونشرح، ونُعرِّف بدقة ماهية التربة، ولماذا هي مهمة جداً لنا. وبعد أن نحدد ما هو معروف بالضرورة، ينبغي أيضاً أن نصحح بعض المفاهيم الرئيسية

المغلوطة عن التربة . وكما تشير مقدمة هذا الفصل، يخلط الناس عادة مابين التربة والتراب. التربة ليست تراباً. و التراب هو التربة الموجودة في غير موضعها–التربة الموجودة حيث لا ينبغي لها أن تكون، ملوثة أيدينا أو ملابسنا، ومشتتة على الأرضية. التراب هو ما نحاول تنظيفه وإبقاءه بعيداً عن بيئتنا.

لكن التربة لها خصوصية– غامضة تقريباً ، ومصيرية لبقائنا، وسواءً أدركنا ذلك أم غفلنا عنه، فهي أساسية لوجودنا . لقد حططنا من قدر التربة، وطالما أهناها، إلا أنها تستحق ما هو أفضل من ذلك – وفي هذا الفصل وفي الفصول الأخرى من هذا القسم، سوف نعطي التربة الإهتمام الذي تستحقه بحق.

في الفصل السادس ناقشنا أساسيات التربة. وفي هذا الفصل سوف نراجع عدداً من هذه النقاط، وسوف نطور أخرى لكي تكون أساساً لمعلومات متقدمة عن إستخدام التقنية من أجل إعادة إستخدام، أو إعادة تدوير التربة الملوثة المقدم في الفصل 21.

قبل أن نمضي قدماً، دعنا نلقي نظرة أخرى على قبضة "التراب" التي يمسكها الإنسان الحديث بعد أن حولت قمة الجبل إلى تربة باليد الواثقة لأمنا الطبيعة عبر ملايين وملايين السنيين . ما الذي يحمله شخص ما في يده ،في الحقيقة، حينما يمد يده إلى أسفل ويقبض قبضة من "التراب" ؟ نحن نؤكد على أن هذا الشئ ليس تراباً بل تربة . لكن ماهي التربة؟ ربما لا يسبب سؤال ما من اللبس في التواصل بين المجموعات المتعددة من "الأشخاص العاديين" و"المتخصصين"– علماء البيئة، والمهندسين البيئيين، والمجموعات المتخصصة

من علماء الأرض ، والمهندسين بصورة عامة-مثلما تسبب كلمة ترية. لماذا؟ من منظور المتخصص، تقع المشكلة في السبب الذي من أجله تدرس هذه المجموعات المختلفة التربة .

علماء التربة يكونون مجموعة تهتم بالترب كوسط لنمو النباتات. وينظر الفرع المقابل لهؤلاء من المهندسين (مهندسو التربة) للتربة كوسط يمكن حفره بواسطة الأدوات. تقع نظرة الجيولوجيين في الوسط بين نظرة علماء التربة ونظرة المهندسين البيئين لأنهم مهتمون بالترب وبعمليات التجوية كمؤشرات عن ماضي الظروف المناخية، ولعلاقتها بالتكوين الجيولوجي لمواد مفيدة تتراوح بين ترسبات الطين وخامات معادن.

كيف نجلي هذا اللبس؟ لكي نجيب، دعنا ننظر إلى تلك القبضة من التربة من منظور مختلف- لكنه أكثر أساسية وإبانة- ضع في الإعتبار الاوصاف الآتية للتربة، لكي تفهم ماهية التربة بصورة أفضل، ولكي تفهم لماذا هي مهمة بصورة حاسمة، لنا جميعاً.

1. قبضة التراب هذه هي كائن حي حساس حيويته كحيوية الوعول المهاجرة، و ساحر كسرب من أسراب البلشون. وهي تعج، بصورة حرفية، بحياة ذات أشكال لا تضاهى، تستحق التربة أن تصنف كنظام بيئي مستقل، او بالأصح كأنظمة بيئية مستقلة.
2. حينما نمد يدنا إلى أسفل، ونرفع قبضة من التربة كاشفين عن صخر الأديم الصلب، فإنه ينبغي لهذا أن يذكرنا وربما يفاجئ بعضنا، أنه من دون

هذه الطبقة الرقيقة الحية من التربة كانت الأرض ستغدو كوكباً بلا حياة، مثلها مثل قمرنا.

إذا كنت مازلت تفضل أن تدعو التربة تراباً، فإن هذا حسن، لربما كنت تنظر إلى التراب بنفس طريقة شخصية إيثان الحائز على جائزة نيوبري إي. إل كونيغسبرغ:

بالطريقة التي أرى فيها الأمور، فإن الفرق بين المزارعين وسكان الضواحي هو الفرق بين الطريقة التي نشعر بها تجاه التراب. بالنسبة لهم، الأرض هي شئ ينبغي أن يحترم، ويحافظ عليه، لكن التراب لا يحصل على أي احترام . المزارع يحب التراب، وسكان الضواحي يودون التخلص منه. التراب هو الطبقة العاملة في الأرض، والتعامل مع التراب هو جزء من حياة المزرعة كما هو التعامل مع الروث: لا يسهل التعامل هذا أوذلك وإنما كلاهما ضروري. (199,64).

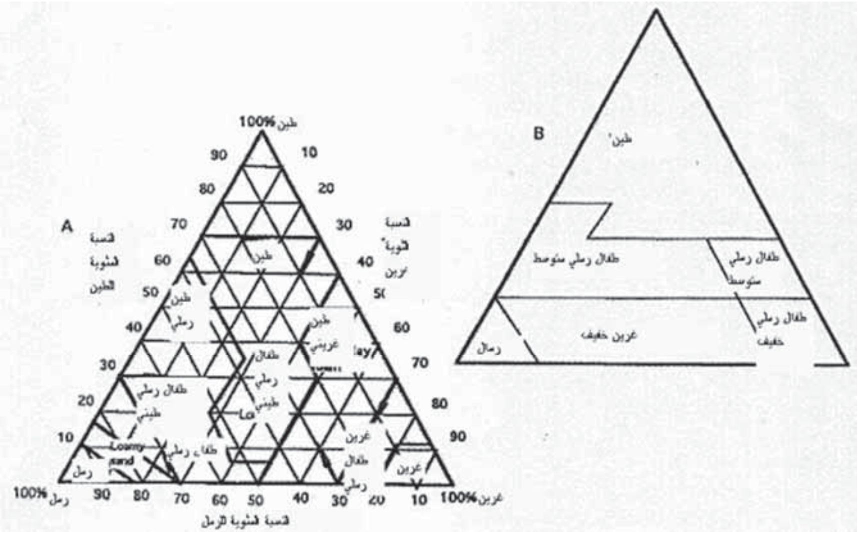
أساسيات التربة Soil Basics

التربة هي طبقة الجسيمات المترابطة من الرمل ، والغرين، و الطين التي تغطي وجه الأرض . معظم الترب بها طبقات متعددة. الطبقة الأعلي (الطبقة الفوقية) هي الطبقة التي تنمو فيها النباتات . هذه الطبقة الفوقية (**top soil**) هي في الواقع نظام بيئي، مكون من مكونات حيوية وغير حيوية – مواد كيميائية غير عضوية، والهواء ، والماء والمواد العضوية المتحللة التي توفر المغذيات الحيوية لعملية التحليل الضوئي للنبات والكائنات الحية. أسفل الطبقة الفوقية

(وفي العادة بسمك لا يزيد عن المتر)، توجد التربة التحتية (**subsoil**)، وهي طبقة أقل إنتاجية بكثير، و يرجع السبب في ذلك، بصورة جزئية، إلى إحتوائها كميات أقل من المادة العضوية. أسفل ذلك توجد المادة الأم، أو الأديم، أو المادة الجيولوجية الأخرى التي تتكون منها التربة في النهاية. والقاعدة العامة هي انه يحتاج لـ 30 عاماً لتكوين بوصة واحدة من الطبقة الفوقية من التربة التحتية. ويستغرق أكثر من ذلك بكثير من تكوين الطبقة التحتية من المادة الأم، يعتمد الطول الزمني على المادة الموجودة في الأسفل (فرانك وبراونستون 1992).

خواص التربة Soil Properties

من وجهة نظر عالم البيئة (وبخصوص الحفاظ على الأراضي، وطرق معالجة التربة الملوثة عن طريق إعادة الإستعمال وإعادة التدوير) تثير أربع من خواص التربة الأساسية الإهتمام: قوام التربة، و ميلها، وبنيتها، والمادة العضوية. قوام التربة (**soil structure**) (إنظر الشكل 19-2) هو أمر معطى، ولا يمكن بسهولة، أو بصورة عملية أن يغير بأي صورة جوهرية. يحدد هذا القوام بحجم جسيمات الصخور (الرمل، و الغرين، وجسيمات الطين) الموجودة داخل التربة . أكبر جسيمات التربة هي الحصى، والذي يتكون من شظايا ذات قطر يزيد على 2 ملم. تصنف الجسيمات ما بين 0.02 إلى 2.0 ملم كرمل. بينما تتراوح أقطار جسيمات الغرين مابين 0.002 إلى 0.002 ملم. وأصغر الجسيمات (جسيمات الطين) يكون قطرها أصغر من 0.002 ملم.



الشكل 19-2 أ. مثلث قوامي شبيه بنموذج وزارة الزراعة في الولايات المتحدة; ب. المجموعات العريضة للأصناف القوامية

مأخوذ من د. ز بريغس و آخرون، أساسيات البيئة الفيزيائية، ص 323.

بالرغم من أن الطين مكون من أصغر الجسيمات، فإن لهذه الجسيمات روابط أقوى من تلك الموجودة في الغرين أو الرمل، إلا أن هذه الجسيمات الطينية تتآكل بسرعة ما أن تنفصل عن بعضها البعض. لحجم الجسيم تأثير مباشر على قابلية التآكل. نادراً ما تتكون التربة من حجم واحد من الجسيمات، ومعظمها خليط من أحجام متعددة.

الميل (**slope**) (أو إنحدار طبقة التربة) هو أمر معطى آخر. وهو مهم لأن قوة حث جريان الماء تزيد مع زيادة إنحدار الميل. ويُسهل الميل الجريان أيضاً، ليمارس قوة متزايدة على جسيمات التربة، تؤدي إلى تفكيكها من بعضها البعض لمسافة أبعد.

لا ينبغي الخلط بين بنية التربة **(Tilth) (Soil Structure)** وبين قوام التربة **(soil texture)**– فهذان أمران مختلفان. في الواقع، وفي الحقل، قد تعدل الخواص التي يحددها قوام التربة بصورة كبيرة بواسطة بنية التربة. يقصد ببنية التربة الطريقة التي تتجمع بها جسيمات التربة المتعددة سوية. حجم، وشكل، وإنتظام عناقيد جسيمات التربة التي تسمي بالمجاميع **(aggregates)** تكون كتلاً أكبر تسمي وحدات بنية التربة **(peds)**. جسيمات الرمل لا تتجمع إذ تفتقد التربة الرملية إلى البنية . تميل التربة الطينية للإلتصاق سوية في شكل كتل ضخمة. تطور التربة الجيدة كتلاً صغيرة هشة **(friable)** (تتفتت بسهولة). تطور التربة بيئة فريدة، ذات بنية ثابتة إلى حد كبير في المناظر الأرضية الهادئة. إلا أن الممارسات الزراعية تكسر التجمعات ووحدات بنية التربة وتقلل من مقاومة التآكل.

وجود البقايا المفككة والمفتتة للنباتات والحيوانات (المادة العضوية **Organic Matter**) في التربة لا يساعد فقط في الخصوبة، بل يساعد بنية التربة كذلك، وبالأخص مقدرتها على تخزين الماء. الكائنات الحية (البروتوزا، و الديدان الخيطية، والديدان الأرضية، والحشرات، والفطريات، والبكتيريا)، هم السكان المعتادون للتربة. تعمل هذه الكائنات الحية إما من أجل التحكم في أعداد الكائنات الحية في التربة، أو من أجل المساعدة في إعادة تدوير المادة العضوية الميتة. تطلق كل الكائنات الحية في التربة، بطريقة أو بأخرى، المغذيات من المادة العضوية، محولة المواد العضوية المعقدة إلى منتجات يمكن استخدامها من قبل النباتات.

دراسة الحالة 19-1

Case Study

غزو الغرباء

Alien Invasion

خلال الثمانينيات من القرن العشرين، أنشأ معهد دراسات النظام البيئي (IES) في ملبروك، نيويورك، متدرجاً (gradient) من الحضر إلى الريف، من أجل دراسة و قياس الصحة البيئية للغابات، من مدينة نيويورك إلى ريف كونكتكت. خلال دراستهم لهذا المتدرج، وجد الباحثون أمراً غير متوقع: في منتصف تعلمهم أن ترب الغابات في المناطق التي تقع على مقربة من المناطق الحضرية حملت ملوثات أكثر، بينما الأنظمة البيئية الأكثر صحة، والأكثر تنوعاً هي تلك الموجودة في الترب الريفية، وجد الباحثون أن ديداناً أرضية غريبة كانت تدمر ترب الغابات الريفية.

لا حظ باحث من معهد دراسات النظام البيئي ،الدكتور ريتشارد بويات (Dr/ Richard Pouyat)، الذي كان يعمل وقتها في خدمة الغابات في الولايات المتحدة، أن لأرضية الغابات في عدة أنظمة بيئية حضرية، ودون حضرية، إضافة إلى تلك الموجودة في شبكة المائة ميل الممتدة بين المناطق الريفية والحضرية طبقة رقيقة من الأوراق المتساقطة، أو لايوجد بها أوراق متساقطة على الأرض أصلاً.

كان هذا الوضع محيراً لبويات، عند الوضع في الإعتبار كيف أن معظم الغابات الشمالية تعتمد على الطبقة الصحية من الأوراق المتساقطة، و التي

تكون منسوجة مع خيوط الفطريات التي تربط الأوراق المتساقطة إلى التربة وتفكك المغذيات.

كان مصدر هذه المشكلة هو الديدان الأرضية – خصوصاً الديدان الأرضية الغريبة (غير الأصلية) على أمريكا الشمالية – تلك الديدان الآسيوية والأوربية التي استوردتها أجيال من المزارعين، والمستوطنين. على سبيل المثال ربما جاءت نباتات البقس اليابانية (Japanese pachysandra)، والزان الأوربي (European beech)، التي تنتشر على المروج الأمامية في عدد من البلدات، محملة بالديدان الأرضية الغريبة على أمريكا الشمالية. إزدهرت هذه الديدان وربما شكلت خطراً.

وفي الواقع، فإن أي دودة أرضية شمالي الركام الجليدي، والحد الجليدي بالقرب من غرب فرجينيا وميري لاند هي دودة غير أصلية . ربما أتت هذه الديدان من المحاصيل والأشجار التي تم نقلها وإستزراعها في المناطق الشمالية، ولربما أتت أيضاً من الديدان التي تستخدم كطعوم في محلات صناعة الأسماك. بعض أنواع الديدان الأرضية[5]، على سبيل المثال، يرجع أصلها في الحقيقة إلى أوروبا.

تؤثر هذه الديدان الغريبة على الأس الهيدروجيني (pH) للتربة، وتؤثر كذلك على دورة النتروجين، كما تشوش على الغابة بتحريكها العنيف لتربتها– وهو الأمر الذي لا يشكل أهمية كبيرة في الظاهر على مايبدو، إلى أن يؤدي إلى قلب عربة التفاح الهشة التي هي تربة الغابة. فقد أوضحت بعض الدراسات

[5] Night Crawlers

الباكرة فقداً في العوابر الربيعية (Spring ephemerals)، والأنواع العشبية الأخرى في الغابات تأثرت بالديدان الغريبة. تشمل معالجة هذه الديدان نشر التبغ، والقهوة، والجوز الاسود على المناطق المتأثرة. أوضحت دراسة هولندية أن الديدان تهاجر لحوالي 30 قدماً في العام، الشئ الذي يعني أنه إذا بدأت الديدان الأصلية في الهجرة شمالاً من بالتمور وميري لاند بعد المثلجة الأخيرة (Last glacier)، فإنها تكون قد وصلت الآن إلى فيلادلفيا، وبنسلفانيا. ولا تشكل الديدان الغريبة هذه أمراً يستحق أن ننفعل تجاهه بحدة، إلا أنها قد تصبح أمراً ذا شأن بمرور الزمن (إقتباس من جون د. تيلور. في البحث عن المرتفعات الشرقية. الكتاب الرابع:الطيور: ديك الخشب: ديك الخشب الآن. لانكستر، بنسلفانيا.: مطبعة بوناسا، 2004.)

المراجع References

Dennis Barton, Schuylkill Center director of Land Restoration. "The Trouble with Worms." *Keystone Outdoors* (Spring 2003).

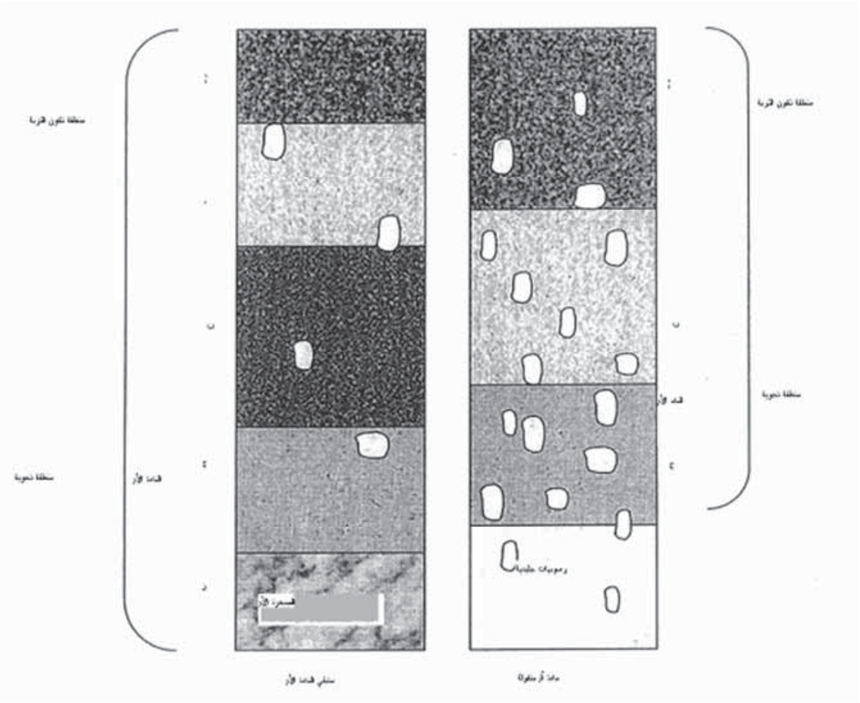
تكوين التربة Soil Formation

تتكون التربة نتيجة لتفاعلات فيزيائية، وكيميائية، وأحيائية في مواقع محددة. وبالطريقة ذاتها التي يتنوع بها الغطاء النباتي في البيئات الأحيائية، تتنوع كذلك أنواع التربة التي تدعم النباتات. تختلف الحياة النباتية في التندرا بشدة عنها في الغابات المطيرة، كما تختلف أيضاً عن الحياة النباتية في البراري، وفي الغابات الصنوبرية وتختلف الترب بصورة شبيهة.

في عملية تكوين التربة **(soil forming process)** تحدث عمليتان مترابطتان، إلا أنهما مختلفتان بصورة مبدأية، ومتزامنتان. العملية الأولى هي تكوين المادة الأم للتربة عن طريق تجوية الصخور، وشظايا الصخور، و الرسوبيات. تجري هذه المجموعة من العمليات في منطقة التجويه **(zone of weathering)**. نقطة النهاية لهذه العملية هي إنتاج المادة الأم لكي تتطور منها التربة، ويشار إلى هذه المادة بمادة الأفق ج (انظر الشكل 19-3) وتنطبق بالطريقة بذاتها على الترسبات الثلجية، كما هو الحال مع الصخور. المجموعة الثانية من العمليات هي تكوين التربة عن طريق العمليات المكونة للتربة والتي تغير مادة الأفق ج إلى الأفق أ و هـ و ب. يوضح الشكل 19-3 قطاعين عموديين للتربة ، واحد للجرانيت الصلب والآخر لترسيب ثلجي.

يستغرق تطور التربة زمناً طويلاً، وهو نتيجة لعمليتين رئيسيتين : التجويه وتحول الشكل الظاهري. التجوية **(weathering)** هي تكسر الأديم، والرسوبيات الأخرى التي تترسب عليه بفعل الريح، والماء، والثورات البركانية، أو المثالج الذائبة، ويحدث بصورة فيزيائية، أو كيميائية، أو كنتيجة لخليط من الإثنين.

تشمل التجوية الفيزيائية **(physical weathering)** تفكيك الصخور الذي يحدث بصورة أساسية عن طريق التغيرات في درجة الحرارة، والفعل الفيزيائي للماء، والثلج، والريح. حينما يتميز موقع جغرافي بإحتوائه على أحيائية صحراوية جافة، وبتعرضه بصورة متكررة لدرجات حرارة عالية جداً خلال النهار، متبوعة بدرجات حرارة منخفضة في الليل، فإن هذا سوف يؤدي إلى تمدد الصخور، وإنكماشها، ويقود في نهاية المطاف إلى تصدعها و تكسرها.



الشكل 19-3 قطاع عمودي لمواد متبقية و منقولة

على الطرف الآخر، في الأجواء الباردة يمكن لصخرة أن تتشقق وتتكسر، نتيجة للدورات المتكررة لتمدد الماء في شقوق الصخر وفي مسامه أثناء التجمد والتقلص، اللذين يحدثان أثناء عملية ذوبان الجليد. يظهر الشكل 19-4 مثالاً آخر للتجويه الفيزيائية التي تنتشر فيها عدة أنواع من النباتات، ويمكن لجذور هذه النباتات وهي تنمو أن تمارس ضغطاً كافياً لتوسيع الشقوق الموجودة في الصخور الصلبة، يؤدي في نهاية المطاف إلى شطر الصخرة. أيضاً تخترق النباتات مثل الطحالب والحزازيات الصخور، وتهلهل الجسيمات.

إضافة إلى التجوية الفيزيائية، تتعرض الصخور العارية إلى التجويه الكيميائي (**chemical weathering**)، التي تشمل تسليط تفاعلات كيميائية وإذابة للصخرة. يتم إنجاز هذه التجوية، بصورة أساسية، عن طريق الأكسدة عبر

التعرض لغاز الأكسجين في الجو، ولهطول المطر الحمضي (بعد إذابة كميات من غاز ثاني أوكسيد الكربون من الجو)، والإفرازات الحمضية للكائنات المجهرية (البكتيريا، والفطريات، والحزازيات) تتسارع التجوية الكيميائية في المناخات الدافئة وتبطئ في المناخات الباردة.

لا تحدث التجوية الفيزيائية و الكيميائية عادة (أو أبداً) بصورة مستقلة عن بعضها البعض. بدلاً عن ذلك تعمل التجوية والكيميائية والفيزيائية سوية، ونتائج عملهما قد تكون مذهلة . المثال الكلاسيكي لأثر وقوة أفعالها المتزامنة يمكن رؤيته في العملية البيئية المعروفة بتعاقب الصخور العارية، التي شرحت في فاتحة هذا الفصل. لكي نريك كيف أن هذا التركيب فعال وذو أثر دراماتيكي ، نقدم لك مثالاً يمكن في الواقع، رؤيته اليوم. يوضح الجسر الطبيعي في فيرجينيا (إنظر دراسة الحالة 19-2) القوة الرائعة للعمليات الفيزيائية، والكيميائية التي تعمل في تناسق مغيرة من تشكيل الأرض، ومنتجة وناقلة للمادة التي تتكون عليها التربة في نهاية المطاف.

تتكون المرحلة النهائية لتكون التربة من عمليات تحول الشكل الظاهري (**Morphogenesis**)، أو إنتاج قطاع عمودي مميز للتربة بطبقاتها المكونة أو آفاقها (انظر الشكل 19-3). يوفر القطاع العمودي للتربة الذي يبدأ من السطح و يمر بكل الآفاق بما في ذلك آفاق ج معلومات حساسة لعالم البيئة . حينما تفسر آفاق التربة بصورة مناسبة، فإن بمقدورها أن تعطي تحذيراً عن المشاكل المحتملة في إستخدام الأرض، وأن تخبرنا بكثير من المعلومات عن بيئة وتاريخ المنطقة. ويمكننا القطاع العمودي للتربة أيضاً، من وصف التربة، وأخذ عينات منها، وتخريطها.

الشكل 19-4 تنشر أنواع مختلفة من النباتات جزورها و تمارس ضغطاً يوسع من الشقوق، التي تشطر الصخور في نهاية المطاف و تحولها إلى تربة.

آفاق التربة (**soil horizons**) هي طبقات متميزة، تكون ،عموماً، موازية للسطح، وتختلف من حيث لونها وقوامها وبيئتها ومحتواها من المادة العضوية (انظر الشكل19-3). يعتمد الوضوح الذي يمكن عن طريقه التعرف به على الآفاق على الإتزان النسبي بين عمليات الهجرة، والتطبق، والتجمع، والمزج التي تحدث في التربة أثناء عملية التحول الشكلي. في الترابات من نوع بودزول(**Podzol-type soils**)، يكون التأفق المذهل جلياً جداً ; وفي الترب من نوع فيرتيسول (**Vertisol-type soils**)، تكون الآفاق أقل وضوحاً. حينما تدرس الآفاق، يرمز لكل واحد منها بحرف لعكس منشأ الأفق (إنظر الشكل 19-3).

تعمل بعض العمليات على إنتاج وتحطيم آفاق ترابية واضحة . يشمل تكوين آفاق التربة التي تميل لإنشاء آفاق واضحة عن طريق إعادة التوزيع العمودية

لمواد التربة ترشيح الأيونات في محاليل التربة، وحركة الجسيمات ذات الحجم الطيني، وحركة الماء إلى أعلى عن طريق الفعل الشعري، والترسيب السطحي للغبار والجسيمات الهوائية. تتحطم آفاق التربة الواضحة عن طريق عمليات المزج التي تحدث بسبب الكائنات الحية، وبسبب عمليات الحراثة، وعمليات الزحف عند المنحدرات، وبسبب جيشان الصقيع وإنتفاخ وإنكماش الأطيان، وكل هذه العمليات هي جزء من العمليات الطبيعية لتكوين التربة.

دراسة الحالة 19-2
Case Study
جسر فرجينيا الطبيعي
The Natural Bridge of Virginia

ذكر توماس جيفرسون (Thomas Jefferson) أن جسر فرجينيا الطبيعي هو "أكثر أعمال الطبيعة روعة". أعلن عن هذا المعبر الحجري العظيم، الذي يقع على بعد عدة أميال إلى الغرب من الجبال ذات القمة الزرقاء في قلب وادي الأبالاش العظيم في غربي فرجينيا، كأحد أعاجيب الطبيعة في العالم.

إن نسب الجسر الطبيعي مهولة. والجسر الذي تم قياسه ووصفه بأنه يبلغ من الطول 90 قدماً، له عرض يتراوح بين 150 قدم في أحد طرفيه و 50 قدماً في الطرف الآخر، وهو من حيث الارتفاع أعلى من شلالات نياجارا . يحتوي باع هذا الجسر على مايقارب 450,000 قدم مكعب من الصخور. و إذا استطاع الإنسان وزنها سيجد أن كتلة هذا الجسر تزن حوالي 36,000 طن (72,00,000 رطل). عند أسفل هذا الجسر ينساب نهر سيدار، الذي هو الآن مجرد (وشل صغير) مقارنة بالإنسياب الضخم الهادر الذي كانه ذات مرة.

السؤال المعتاد بخصوص هذا الجسر الطبيعي هو "كيف تكون؟". قدمت نظريات عدة بخصوص المنشأ الدقيق للجسر الطبيعي. تبنى توماس جيفرسون نظرية أن الجسر الطبيعي تكون نتيجة لحدث كارثي ما (ما أسماه هو "تشنج عظيم ما")، وأن تكوينه حدث في عهد قريب (في ذلك الزمن كان يعتقد أن عمر الأرض هو عدة آلاف من السنين. و بالنسبة لجيفرسون، فإن كون حدث ما قد إستمر على مدى ملايين الأعوام أمر لا يمكن إستيعابه).

نعلم نحن اليوم أن الأفكار حول المظاهر الطبيعية مثل الجسر الطبيعي، تتغير مع إكتسابنا لمعارف جديدة. يوضح سبنسر (1985) إنه عند الحديث حول عمر محدد للجسر الطبيعي، ينبغي أن نكون حذرين بحيث نميز بين عدة أحداث مهمة. يشير هو إلى أن الصخور المكونة للجسر هي من نوع (أورديفيشيان) الباكر (يبلغ عمره حوالي 500 مليون عام). حوالي نهاية حقبة الحياة الباليزوكية، (حوالي مايزيد عن 200 مليون عام) تم فرض البنى الداخلية (الطيات والكسور في الطبقات) لهذه الصخور خلال عملية بناء جبال الأبلاش. و يحتمل أنه قبل ما لا يزيد عن عدة ملايين من السنين، بدأ تكوين مجاري الجدول ونحت الجسر.

عدل جيفرسون، في ما بعد، مستهدياً بآراء أخرين – من نظرية (التشنج العظيم) خاصة كسبب لتكون الجسر. كان جيفرسون، تلميذ العلم الفطن، مدركاً لأن الجسور الطبيعي الأخرى على الأرض، قد تكونت نتيجة لفعل المياه– حيث أن عمل المياه التي جرت عبرها و أبلتها، بدلاً عن تشنج الطبيعة قد كون هذه الجسور الأخرى، وربما كون الجسر الطبيعي كذلك.

قدم أحد أصدقاء جيفرسون، فرانسيس دبليو غلمر (Francis w. Gilmer)، وصفاً مفصلاً لمنشأ الجسر الطبيعي في العام 1816. وفي ورقة قدمها غلمر

إلى الجمعية الفلسفية الأمريكية تتضح الخطوط العريضة لتفكيره حول هذا الموضوع:

بدلاً من أن يكون أثراً لتشنج مفاجئ، أو حيود خارق عن القوانين المعتادة للطبيعة، سوف يكتشف أنه قد تم إنتاجه بالعملية البطيئة جداً للمسببات، والتي يجب أن تستمر في العمل بالطريقة ذاتها دائماً، المنطقة فوق الجسر.... كلسية.... هذه الصخور ذائبة في الماء إلى درجة وجودها في محلول مع مياه المنطقة، وهي ناعمة جداً لدرجة أنها لا تخضع فقط لقوة الماء الكيميائية، بل و لتأثيره الميكانيكي الحات كذلك .. هنا، وكما في المناطق الكلسية عموما، توجد شقوق كثيرة وضخمة في الأرض ، تعمل أحياناً كقناة لجداول تيارات تحتانية تدعى (الأنهار الغارقة).

لذلك، فإنه من المحتمل أن مياه جدول سيدار وجدت في البداية معبراً تحتانياً أسفل قوس الجسر .... إتسع الجدول بصورة تدريجية وعمق من هذا الوادي إلى وضعه الحالي . كما هوت شظايا جانبيه، مذعنةً لتمدد وإنقباض الحرارة والبرودة، إلى مافوق إرتفاع المياه.. مكثت الحجارة واليابسة التي تكون القوس، هناك من دون كل الأمكنة الأخرى، ولكون التلة قد قدت من صخر، فإن عمق الصخرة كان في أعلى قمة له فوق سطح الماء، عند أعلى إرتفاع للتلة، ولأن هذا الجزء كان سميكاً جداً، وطبقاته أفقية، كان القوس قوياً بما فيه الكفاية لكي يستقر على هذه القاعدة .. وبالفعل، العملية ذاتها التي تكوَّنَ بها الجسر الطبيعي، مازالت جارية أمام العيان، الماء يحفر الصخر، ويزيد من عرض القناة، التي ربما سوف تصبح بعد إنقضاء فترة زمنية طويلة، عريضة جداً بحيث لا تستطيع أن تسند القوس، وسوف تختفي أعجوبة بلدنا هذه.

منذ أيام نظرية غلمر الأصلية حول منشأ الجسر الطبيعي، إتفق كل الجيولوجيين الذين درسوا الجسر الطبيعي في ما بعد، مع النظرية القائلة بأن

الجسر قد تكون نتيجة لفعل المياه الجارية التي إنحرف مسارها من سطح اليابسة إلى معبر تحتاني أسفل القوس. ويختلف هؤلاء فقط في تفاصيل هذا الإنحراف. يستند سبنسر إلى أن سي. د والكوت (1983, C.D. Waleot) على سبيل المثال، "أفترض أن الجسر كان ذات مرة موقعاً لشلال، وأنه في ذلك الوقت كانت أرضية وادي غدير سيدار على مستوى يقارب قمة الوادي الضيق. وإفترض والكوت أن الماء قد انحرف بطريقة ما على مقربة من أعلى الشلال إلى ممر تحت أرضي، يفرغ خارج قاعدة الشلالات. كان هذا ليترك مدى الدولومايت بين نقطة الإنحراف و حافة الشلال سالمة" (4, 1985).

يفضل الآخرون الذين درسوا منشأ الجسر الطبيعي (مثلاً، وودوار 1936) أفكاراً أقرب بكثير إلى أفكار غلمر – أي أن الجدول السطحي قد إنحرف مساره إلى فتحة في الارض (كهف) تدفقت منها المياه بإتجاه المصب. كون هذا الإنسياب الجوفي قناة طبيعية طويلة. وبمرور الزمن تهاوى سقف هذا النفق، تاركاً وراءه إمتداد الجدول الطبيعي فقط (إنظر الشكل 19-15).

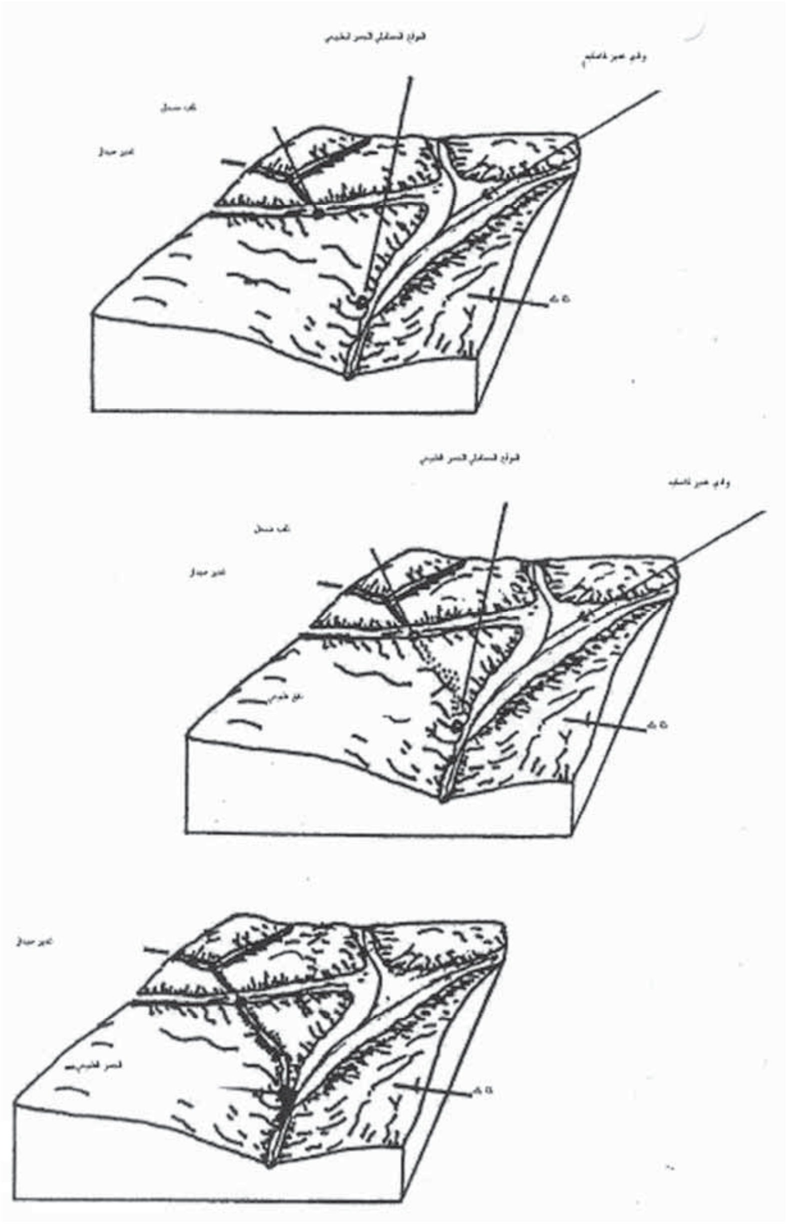
مازال غدير سيدار ينساب تحت الجسر الطبيعي (انظر الشكل 19-6). يبتدئ هذا الغدير في جبال اليغني ويفرغ ماءه في نهر جيمس. حددت بنية الصخر الذي قدّ منه الجسر الطبيعي موقعه. قوس الجسر الذي هو ضخم ومحكم و مكون من الدولامايت وتبدو بنيته محكمة (أُنظر الشكل 19-71). إلا أنه، ومع مرور الزمن، سوف يسقط الجسر في غدير سيدار، ينتهي أمره، لكن بالطريقة ذاتها التي تعمل بها الطبيعة على تحوير الجسر الطبيعي، و تحطيمه في نهاية المطاف، فإنها تعمل على تكوين أعاجيب أخرى في العالم، كما يتحتم عليها أن تفعل.

Chapter Summary خلاصة الفصل

حينما نتكلم عن تعلم شئ ما من الخبرة العملية، فإننا نقول أننا نحتاج إلى أن نذهب إلى هناك وأن نوسخ أيدينا بالتراب. يعني التمدين المتزايد إنفصالاً متزايداً عن المعرفة العملية في عدة مجالات لإستخدام الأرض – انفصالاً عن توسيخ أيدينا بالتراب. لم يزرع الكثيرون من أعضاء مجتمعنا سوى النباتات المنزلية التي تغرس في الأواني المنزلية ذات التربة التي تأتي معبأة في أكياس من المتاجر – ولم يمروا بسوى هذه التجربة المعبأة المعقمة، مع التربة ومع ما تفعله.

إلا أن التربة لا تبدأ حياتها ملفوفة في البلاستيك ، كما لا تفعل منتجات اللحوم التي يشتريها الناس من الأسواق. حينما ننسى أننا نعتمد على ما تنتجه الأرض من خصوبة تلك الطبقة الدقيقة، الرفيعة من التربة الفوقية نصبح من المسرفين– ونضع أنفسنا في موضع الخطر. نحن نقلل من شأن تربتنا. ونقطع الأشجار من فوقها ونعبد الطرق عليها ونوسع من مجتمعاتنا، بلا إحتياج حقيقي عليها عبر إهمالنا وعدم إهتمامنا، نسممها– وبإختصار نضيعها.

مع تزايد وعينا بجدية مشاكل تلوث التربة التي يتحتم علينا أن نخفف منها ونعالجها، ومع عملنا لتطوير طرق فعالة لإعادة إستخدام وإعادة تدوير التربة الملوثة، سوف نظل نملك نزعة التفكير في تلوث التربة، فقط، حينما يؤثر على إمداداتنا المائية. مرة أخرى، نحن نقلل من قيمة التربة، ينبغي علينا أن لا نغفل عن مرأى الجبال الصخري وخلود الزمن اللذين عملا على صناعة التربة الموجودة تحت قدمينا.



الشكل 19-5 كيف تكون الجسر الطبيعي عبر الزمن. بداية بثقب ضحل، كون غدير سيدار نفقاً طبيعياً (كما هو موضح) ; لاحقاً، هوى سقف النفق. و لأن الجسر الطبيعي تكون من دولومايت، فإنه ظل في مكانه.

الشكل 19-6 غدير سيدار كما يبدو اليوم

الشكل 19-7 الجسر الطبيعي

أسئلة ومسائل مناقشة

Discussion Questions and problems

1. إختر مظهراً طوبوغرافياً طبيعياً تكون نتيجة للتجوية الفيزيائية والكيميائية في محليتك وصف تكونه.
2. صف كيفية تكوين التربة.
3. عرف قوام التربة وبنية التربة.
4. لماذا هناك لبس أو إختلاف حول إستخدام المصطلح تربة؟

5. إشرح كيف تغير المادة العضوية من الطبيعة الفيزيائية والكيميائية للتربات ؟

مواضيع ومشاريع بحث مقترحة

- خطط خصائص كل مرحلة من تعاقب الصخرة العارية.
- إختر موقعاً في منطقتك يوضح تعاقب الصخرة العارية في الطبيعة، واجر بحثاً عن تاريخه؟
- طور تعريفاً متوسعاً للتربة.
- إختر موقعاً في منطقتك – حلل التربة إعتماداً على الخواص الأربع الرئيسية– قوام التربة، والميل ، والبنية ، والمادة العضوية.
- تفحص عملية تكوين التربة لمنطقة جيولوجية معينة –غابة مطيره، أو صحراء، أو تندرا، أو سهول، أو جبل، على سبيل المثال.
- إجر بحثاً عن سيرة حياة غلمر.
- إجر بحثاً عن جيفرسون والجسر الطبيعي.

المراجع المثبتة

Cited References

Brady, N. C., and R. R. Weil. *The Nature and Properties of Soils*. 11th ed. New York: Prentice Hall, 1996.

Briggs, D., P. Smithson, K. Addison, and K. Atkinson. *Fundamentals of the Physical Environment*. 2nd ed. New York: Routledge, 2002.

Franck, I., and D. Brownstone. *The Green Encyclopedia*. New York: Prentice Hall, 1992.

Konigsburg, E. L. *The View from Saturday*. New York: Scholastic Books, 1996.

Malot, C. A., and R. R. Shrock. *Origin and Development of Natural Bridge*. Virginia: *American Journal of Science* 5th ser., vol. 19, 257–73.

Spencer, E. W. *Guidebook: Natural Bridge and Natural Bridge Caverns*. Lexington, Va.: Poorhouse Mountain Studios, 1985.

Tomera, A. N. *Understanding Basic Ecological Concepts*. Portland, Maine: J. Weston Walch, Publisher, 1989.

Woodward, H. P. ''Natural Bridge and Natural Tunnel.'' *Journal of Geology* 44, no. 5 (1936): 604–16.

المراجع المقترحة

Suggested References

Batie, S. S. *Soil Erosion: Crisis in America's Croplands?* Washington, D.C.: Conservation Foundation, 1983.

Birkeland, P. W. *Soils and Geomorphology*. New York: Oxford University Press, 1984.

Bohn, H. L., B. L. McNeal, and G. A. O'Connor. *Soil Chemistry*. 2nd ed. New York: Wiley, 1985.

FitzPatrick, E. A. *Soils: Formation, Classification and Distribution*. London: Longman, 1980.

Rowell, D. L. *Soil Science: Methods and Applications*. London: Longman, 1994.

Wilde, A., ed. *Russell's Soil Conditions and Plant Growth*. 11th ed. London: Longman.

الفصل العشرون

تلوث التربة

Soil Pollution

وجـد التقيـيم العـالمي لتـدهور التربـة الـذي أجـراه برنـامج الأمـم المتحـدة للبيئـة أن 11% تقريبـاً مـن تربـة الأرض الخـصبة قـد تـم تجريفهـا، أو تغييرهـا بأسـاليب كيميائيـة،أو تـم إدماجهـا فيزيائيـاً بـصورة تـدمر وظيفتهـا الأحيائيـة الأصـلية (مقـدرتها علـى معالجـة المغـذيات وتحويلهـا إلـى هيئـة يمكـن اسـتخدامها بواسـطة النباتـات). كمـا تـم تلويـث حـوالي 3 % مـن التربـة إلـى درجـة إنـه لم يعد من الممكن أن تقوم بهذه المهمة.

أهداف الفصل

Chapter Objectives

- بعد دراسة هذا الفصل ينبغي أن تكون قادراً على أن:
- تَتَعـرف علـى، وتنـاقش المـشاكل الرئيـسية ذات الـصلة بخصوبة التربة.
- تَتَعـرف علـى، وتميـز بـين مـصادر تلـوث التربـة الـسطحية، ومصادر التلوث الصناعية.
- تناقش تلوث التربة كمشكلة في الدول النامية.
- تَـصف وتنـاقش كيفيـة تـأثير ملوثـات الهـواء علـى جـودة التربة.

- تَصف وتناقش الطرق الرئيسية التي تلوث بها الملوثات المائية التربة.
- تَصف كيف يمكن التخلص من المواد الحيوية الصلبة أن يؤثر على جودة التربة.
- تَصف التخزين (من المناجم والمصادر الأخرى)، وتراكيز الملوثات والطرق التي تدخل بها الملوثات إلى التربة.
- تناقش ممارسات الرمي القديمة والحديثة، وأن تحدد كيفية تأثيرها على جودة التربة.
- تناقش وتَصف كيف تؤثر معالف الحيوانات على جودة التربة.
- تَتَعرف على، وتَصف المشاكل التي يمكن للمخصبات ومبيدات الآفات أن تسببها للتربة.
- تعرف وتناقش القاعدة الرئيسية التي تتحكم بتأثير ومدى الإنسكابات العرضية وتلوث التربة.
- تَصف كيف يمكن لعملية صنع السماد في الباحة أن تسبب تلوث التربة في بعض الاحيان.
- تَتَعرف على الممارسات الصناعية الشائعة التي يمكن أن تقود إلى تلوث التربة.

- تَصف وتناقش تفاصيل أثر الصناعة البترولية على تلوث التربة، والمصادر الأساسية للملوثات، وكيف يؤثر الموقع على عملية المعالجة، والمشاكل المستمرة ذات الصلة بأحواض التخزين الجوفية.

- تَصف المشاكل الخاصة التي يمكن أن تسببها المواد الكيميائية العضوية.

- تَصف المواد الجانبية الملوثة الناتجة من عملية تحويل الفحم إلى غاز.

- تَصف وتناقش كيف تؤثر عمليات التعدين على جودة التربة.

- تَصف وتناقش التلوث المقصود الذي أحدث كعمل إرهابي في حرب الخليج.

خطة الفصل

Chapter Outline

- مُناقشة: مشاكل خصوبة التربة ومسبباتها الشائعة- التأثير الزراعي، التجريف، وتلوث التربة.

- وصف ومُناقشة: تلوث التربة من المصادر السطحية، القوانين المنظمة، ومدى المشاكل.

- مُناقشة: كيف تلوث الملوثات الهوائية التربة.

- مُناقشة: كيف يمكن التخلص من النفايات الصلبة والسائلة أن يلوث التربة.

- مُناقشة: كيف يمكن لأعمال التعدين، وأشغال الطريق، والحفر أن تلوث التربة.
- مُناقشة: مواقع رمي النفايات وتلوث التربة.
- مُناقشة: التذويب وتلوث التربة.
- مُناقشة: فضلات حيوانات المزارع وتلوث التربة.
- مُناقشة: الممارسات الزراعية في التخصيب، والتحكم في مبيدات الآفات وكيف تؤثر ويؤثر على تلوث التربة.
- مُناقشة: الإطلاق العرضي للمواد الملوثة وتلوث التربة.
- مُناقشة: عملية التسميد في المستوى الصغير لفضلات الباحة المعالجة كيميائياً.
- مُناقشة ووصف: المصادر الصناعية لتلوث التربة.
- مُناقشة: مواقع حقول النفط والمنتجات البترولية كملوثات أساسية للتربة.
- مُناقشة: المواد الكيميائية العضوية وتلوث التربة.
- مُناقشة: تلوث التربة من مشاكل مصادر طاقة الحرارة الجوفية.
- مُناقشة: عملية تحويل الفحم لغاز وتلوث التربة.
- مُناقشة: حرب الخليج والتلوث البيئي كسلاح للأرهاب.

المصطلحات الرئيسية

acid mine drainage	تجفيف ماء المناجم الحمضي	accidental spills	الإنسكابات العرضية
airborne contaminants	الملوثات المنقولة بالهواء	air pollutants	ملوثات الهواء
brine	المحلول الملحي المركز	animal feedlots	معالف الحيوانات
dumps	مقالـــــــــــب النفايات	composting	عملية إنتاج الأسمدة
geothermal energy	الطاقة الحرارية الجوفية	fertilizer	مخصب
leach liquors	سوائل الرشح	industrial pratices	الممارسات الصناعية
midnight dumping	الرمي الغير قانوني للفضلات	lead-mine scale	قشرة منجم الرصاص
pesticide	مبيد الآفات	nitrogen fixation	تثبيت النتروجين
soil fertility	خصوبة التربة	salt spreading	نشر الملح
spoil	أنقاض	soil pollution	تلوث التربة

surface origins	الأصول السطحية	stockpile	كوم تخزين
tailings	خبث	symbiotic	تكافلية

مقدمة

خصوبة التربة هي مثار قلق كبير، ليس فقط على إمتداد الولايات المتحدة فحسب، بل وعلى إمتداد العالم كله. الآثار على خصوبة التربة من الممارسات الزراعية (التجريف (erosion)، والتملح (salination)، والتغدق (waterlogging)) معروفة، ومدروسة وموثقة جيداً. وممارسات المعالجة معروفة هي الأخرى، وموضوعة موضع التنفيذ، في الحقيقة، في مواضع كثيرة على إمتداد الكرة الارضية. وفي الواقع، إستدعى حل المشاكل ذات الصلة بخصوبة التربة، قدراً معتبراً من الإهتمام مدفوعاً ليس فقط بعدد سكان العالم المتزايد والجائع، لكن أيضاً بقضايا الجيب- القضايا الإقتصادية. غير أن مشكلة رئيسية ذات صلة بخصوبة التربة، أصبحت واضحة في الفترة الأخيرة، ومهمة أساسية في صراع الجماعات البشرية المستمر في الحفاظ على التربة من أجل غرضها الأساسي (الذي ذكره معهد موارد العالم بوضوح وبصورة صحيحة، وهو "مقدرتها على معالجة المغذيات وتحويلها إلى هيئة يمكن إستخدامها من قبل النباتات". هذه المشكلة الحديثة هي ما يعنى به تلوث التربة أو التلوث.

لتلوث التربة (**soil pollution**) المتولد عن التلوث الصناعي، وإدارة مواقع الدعم الفائق، والإستكشاف والإنتاج، والتعدين والممارسات الصناعية النووية،

ضمن أخرين، تأثير على جودة التربة بدأ، فقط، في إستيعابه حديثاً. ومما يعقد المشكلة، أن تلوث التربة يظل عصياً على التقييم. غير أن بعض الأدلة تشير بوضوح إلى تأثير بعض الممارسات الصناعية ذات الصلة بتلوث التربة. على سبيل المثال، نعلم أن التربة الملوثة بالبترول تؤثر على العدد الأكبر من المواقع، وأنها تمثل الحجم الأكبر من المادة الملوثة. غير أن حجم التربة الملوثة بالنفط التي تكتشف، أو تولد كل عام، لا تتابع بصورة متسقة على مستويات محلية، لذا فإن المجموع يظل مجهولاً. نعلم أيضاً من الأدلة (على سبيل المثال في أوكلاهوما تمثل التربة الملوثة حوالي 90% من النفايات المولدة نتيجة للأحداث التي تحدث لمرة واحدة)، إن المقدار الكلي للتربة الملوثة قد يكون مذهلاً (تستا 1997).

في هذا الفصل، سوف نركز على كل من **الأصول السطحية** (Surface origin) لتلوث التربة، **والممارسات الصناعية** التي يمكن أن تلوث التربة . نغطي مفاهيم المعالجة وإستصلاح الموارد في الفصل 21.

الأصول السطحية لملوثات التربة

Surface Origins of Soil Contaminants

تلوث التربة والماء مشكلة شائعة في كل المجتمعات البشرية. على إمتداد تاريخ الحضارة لم يواجه الانسان مشكلة كبيرة،على الأرجح، في التعرف على تلوث المياه السطحية. أصبحت معالجة مياه السطح لغرض الشرب شائعة في أواخر القرن التاسع عشر، ومشاكل الصحة ذات الصلة بمياه الشرب غير النقية أمر نادر اليوم في البلدان المتقدمة. غير أن البلدان النامية مازالت مواجهة بنقص مياه الشرب الآمنة.

في العقود العديدة الماضية فقط، ظهرت مشكلة جديدة للضوء، بصورة مجازية وحقيقية : تلوث التربة وبيئتها الجوفية . هذه المشكلة أكثر جدية بكثير في البلدان المتقدمة بسبب تاريخها الصناعي والمدى العريض من المواد الخطرة والمواد الكيميائية الأخرى التي أدخلت إما قصداً، أو عن طريق الصدفة في البيئة الجوفية. والجهل هو المتهم أكثر من التعمد. كنا جاهلين بمعنى أننا لم نستوعب الدرجة التي يمكن للملوثات أن تهاجر بها عبر التربة، أو الضرر الذي قد تسببه لوسط التربة وللمياه الجوفية تحت السطح "الواقي" أو الصعوبة التي سوف نواجهها في تعقب وإزالة معظم الملوثات بعد إكتشافها.

كانت الإستجابة (في البلدان المتقدمة) للتلوث الجوفي، التي بدأت بأكثر المواقع تلوثاً، مجهوداً ضخماً من أجل تعريف مدى التلوث، ومن أجل معالجة الطبقة التحت سطحية. كانت هذه الإستجابة مدفوعة بالقوانين المنظمة الحكومية التي تتعامل مع معالجة النفايات والتخلص منها، والأنشطة الأخرى التي يحتمل أن تتسبب في التلوث.

مدى الأنشطة التي تسبب التلوث الجوفي هو أكبر بكثير مما كان يمكن لكثير من علماء البيئة أن يخمنوه منذ عدة أعوام خلت. نناقش بإيجاز هذه الأنشطة في الأقسام التالية . تشمل مشاكل جودة التربة التي تنشأ من السطح الترسبات الجوية الطبيعية للملوثات الغازية والجسيمات المنقولة بواسطة الهواء; ورشيح المياه السطحية الملوثة، والتخلص من مواد النفايات الصلبة والسائلة برميها على الأرض، وأكوام التخزين، والخبث، والأنقاض، ومقالب النفايات **(dumps)**، ونشر الملح على الطرقات **(salt spreading)**، ومعالف الحيوانات، والمخصبات ومبيدات الآفات، والإنسكابات العرضية، وعملية إنتاج الأسمدة من الأوراق وفضلات الباحة الأخرى.

وعلى الرغم من أننا لا نناقشها بالتفصيل في هذا الكتاب، فقد جرى التنبه إلى أن هناك مصادر أخرى من تلوث التربة ترتبط بالمنتجات البترولية، وتشمل هذه المصادر التخلص المباشر من الزيوت على الأرض من قبل الأفراد والصناعات، والتسرب من مقالب النفايات، ومقالب النفايات غير القانونية، والحفر غير المبطنة، والبرك، والبحيرات الضحلة، والإنسكابات من حوادث النقل. حتى حوادث السيارات تساهم في عبء التربة (تكر 1989)

تنبيه: تركز المُناقشة التالية على التلوث الناشيء من سطح الأرض. على الرغم من ذلك لاحظ أن تلوث التربة والطبقة التحت سطحية ربما كان منشأهُ من أسفل الأرض، لكن فوق مستوى المياه الجوفية من أحواض التعقيم، ومكبات الأوساخ، والمجارير، والآبار الجافة، والمقابر، وأحواض التخزين الجوفية، وتسرب خطوط الأنابيب الجوفية، ومصادر أخرى. إضافة إلى ماسبق، قد ينشأ تلوث التربة، والطبقة التحت سطحية، والمياه الجوفية من أسفل مستوى المياه الجوفية، كما هو الحال مع المناجم وحفر الإختبار وآبار التجفيف الزراعية، والقنوات، وغيرها.

الملوثات الغازية والمنقولة بالهواء

Gaseous and Airborne Particulate Pollutants

لا نربط عادة بين التربة وكونها عضواً بارزاً في الدورات الحيوية الجيوكيميائية– مثل دورات الكربون، والنتروجين، والكبريت– لكن يتوجب علينا أن نجري هذا الربط لأنها كذلك. ليست التربة جزءاً مهماً من الدورات السريعة والطبيعية للكربون، والنتروجين، والكبريت وحسب. فإضافة إلى هذه الدورات، للتربة وجه بيني قوي وهام مع الجو. ضع في الإعتبار دورة النتروجين، حيث تمتص جذور النباتات والكائنات الحية الدقيقة في التربة النترات وأيونات

الأمونيوم من ماء الأمطار وتحوله إلى أحماض أمينية أو إلى غاز N_2 وغاز N_2O، اللذين يعاودان الإنتشار في الجو. يوازن أخذ N_2 وتحويله إلى أحماض أمينية (تثبيت النتروجين **(nitrogen fixation)** بواسطة الكائنات الحية التعايشية أو التكاملية **(symbiotic)** وحرة المعيشة في التربة فقد غاز النتروجين هذا. وغازات أخرى مثل NO و NO_2 و NH_3 (وغازات النتروجين الأخرى) تبعث أيضاً، وتمتص بواسطة التربة. وهكذا فإن تفاعلات التربة هي محددات أساسية لتراكيز الغازات ذات التراكيز الضئيلة في الجو.

الملوثات الهوائية (air pollutants)- يمتص ثاني أوكسيد الكبريت، وكبريتيد الهيدروجين، والهيدروكربونات، وأول أوكسيد الكربون، والأوزون، ونتروجين الهواء الجوي بواسطة التربة . ولأن هذه التفاعلات دقيقة، فقد تم إغفال أهمية هذه الغازات عند تقييم البيئيين للدمار الذي يحدثه التلوث الهوائي. ثاني أوكسيد الكبريت في المناطق الجافة هو، على الأرجح، أوضح الأمثلة لإمتصاص التربة المباشر. قاعدية الترابات الجافة تجعلها بالوعة نشطة لثاني أكسيد الكبريت والمكونات الحمضية الأخرى من الجو.

يمكن رؤيته مثالين كلاسيكين أخرين لتلوث التربة بالدقائق المحمولة بالهواء **(airborne particulate soil contamination)** في تراكم المعادن الثقيلة في المناطق المحيطة بالمصاهر، وفي تربات المناطق الحضرية التي تلوثت بأبخرة العادم المرتبطة بإنبعاثات المركبات. لملوثي التربة هذين أهمية شديدة في المناطق المتموضعة، لكنهما قليلا الأهمية في غيرهما.

رشيح مياه السطح الملوثة

Infiltration of Contaminated Surface water

تنصب الآبار، عن قصد، بالقرب من الجداول والأنهار من أجل حث إعادة الشحن من الجسم المائي. ومن أجل توفير منتج عالٍ النوعية بعمليات سحب منخفضة. في بعض الأحيان، إذا كان الجدول أو النهر ملوثاً، يمكن أن يحدث تلوث في حقل التربة المحيط ببئر الماء. تحدث هذه العملية عادة حينما يسحب بئر ذو إمداد مائي ضحل الماء من مكمن مياه جوفية ذي طمي مجاور لجدول. ينشأ مخروط الضغط الذي يفرضه ضخ البئرأو حقل البئر متدرجاً على مستوى المياه الجوفية ناحية البئر. ويَجُرُّ هذا المتدرج أو يسحب الماء الملوث تجاه البئر ملوثاً إياها أو ملوثاً حقل البئر.

التخلص الأرضي من المواد الصلبة والسائلة

Land Disposal of Solid and Liquid Waste Materials

أصبح التخلص الأرضي، أوالتخزين، أو الإستخدام الأرضي للنفايات أو المواد التي تشمل النفايات السائلة والأوحال (المواد الحيوية الصلبة) من منشآت معالجة مياه المجاري (يستخدم نصف المواد الصلبة الحيوية في مياه المجاري المحلية المنتج في الولايات المتحدة،تقريباً، على الأرض، إما لأغراض زراعية، أو لمعالجة الأراضي التي شوشت عليها أعمال التعدين والأنشطة الصناعية الأخرى)، ومن شركات معالجة الغذاء، ومن المصادر الأخرى ممارسة شائعة. الهدف من هذه الممارسة ذو شقين: تعمل هذه الممارسة كوسيلة تخلص، وتوفر

إستخداماً مفيداً أو إعادة إستخدام مفيدة لمواد مثل المخصبات للأراضي الزراعية، وملاعب الجولف، وحدائق المدينة والمناطق الأخرى. والهدف من وراء ذلك هو السماح للعمليات الحيوية والكيميائية في التربة، إضافة الى أخذ النباتات، بتفكيك منتجات النفايات إلى مواد غير مضرة. في عدد من الحالات تكون هذه الممارسات ناجحة. غير أن مشكلة التلوث قد تثور إذا كان أيًّ من هذه النفايات ذائباً في الماء ومتحركاً، الشئ الذي قد يسمح لها بأن تحمل عميقاً إلى داخل الطبقة التحت سطحية. إذا كانت منطقة التجفيف أو التسرب واقعة فوق مكمن مياه جوفية، فإن ذلك قد يحدث مشكلة تلوث مياه جوفية.

أكوام التخزين والخبث والأنقاض

Tailings and Spoils، Stockpile

بمقدور بعض أكوام تخزين (**stockpiles**) المنتجات الكيميائية أن تساهم في تلوث التربة، وتلوث الطبقة التحت سطحية. تخزين أملاح الطرق،على سبيل المثال، هو ممارسة شائعة تستخدم من قبل مصالح الطريق السريع المحلية، وبعض الصناعات الضخمة كمعيار إحترازي لمعالجة الثلج والأسطح المغطاة بالجليد في الشتاء. وينتج الخبث (**tailings**) عادة من أنشطة التعدين ويحتوي عادة على مواد (إسبتوس، وزرنيخ، ورصاص، ومواد ذات نشاط إشعاعي) تمثل خطراً على صحة الإنسان والكائنات الحية الأخرى. يذكر أن الخبث الناتج من عمليات التعدين قد يحتوي على ملوثات تشمل الكبريتيد، الذي يكون حمض الكبريتيك حينما يمزج مع ماء الأمطار. وحينما تجري مياه الأمطار، تأخذ بطريقها مواد كيميائية وتتسرّب، عبر الطبقة السطحية وتلوّث التربة، وربما وصلت في نهاية المطاف إلى المياه الجوفية. الأنقاض (**spoil**) هي نتيجة عمليات الحفر، مثل عمليات بناء الطرق، حيث تزال كميات ضخمة من غطاء السطح، وتحفر، وتكوم، ثم تنقل إلى مكان آخر. مشاكل الأنقاض تشابه

مشاكل الخبث تزيل مياه الأمطار المواد في محلول من الأنقاض عن طريق تسرب (مياه التخلل) أي ملوث من الأنقاض. تجد هذه الملوثات طريقها إلى التربة، ومن ثم ينتهي بها المطاف في مكامن المياه الجوفية الضحلة.

مقالب النفايات Dumps

حتّى وقت قريب، كانت إحدى الممارسات الشائعة للتخلص من النفايات هي أخذ كل ما هو غير مرغوب ورميه في مكان ما، في أي مكان، بعيداً عن الأنظار. رمي النفايات غير المتحكم به ممنوع في معظم الدول المتقدمة صناعياً في أيامنا هذه، لكن مواقع رمي النفايات (القديمة) بمقدورها أن تحتوي على كل شئ، وربما ما زالت تشكل تهديداً لتلوث تحت سطحي. إحدى المشاكل التي مازالت مستمرة معنا هي (رمي النفايات غير القانوني **midnight dumping**). لأن رمي النفايات اليوم متحكَّم به ومنظم، فإن عدداً من رامي النفايات يحاولون أن يجدوا طريقة "للتخلص من القمامة". لسوء الحظ، تتكون معظم هذه "القمامة" من مواد خطرة وسموم ينتهي بها الأمر بأن تجد طريقها عبر التربة إلى مكامن المياه الجوفية. إضافة إلى مشكلة التخلص غير القانوني من النفايات، تطورت ممارسة غير قانونية أخرى لرمي النفايات، لاسيما في بعض الصناعات، بسبب التكلفة العالية للتخلص منها بصورة مقبولة. تحدث هذه الممارسة التي تدعى عادة بـ " الحمل الطاهر" (immaculate conception) عندما يكتشف العمال في المنشآت الصناعية براميل غير معلمة أو حاويات أخرى لفضلات غير معلومة، تظهر فجأة على منصات التحميل، أو في مكان آخر من المنشأة . بعد ذلك، بالطبع، ينتهي الأمر بهذه الأوعية من النفايات السامة التي حملت خِلسة، مرمية مع النفايات العادية وبمحتوياتها لكي ترشح عبر التربة إلى مكامن المياه الجوفية.

نشر الملح على الطرقات: Salt Spreading on Roads

في المناخات الشمالية، وبالأخص في المناطق الحضرية، ينتشر نشر أملاح التذويب (**spreading deicing salts**) على الطريق السريعة بصورة كبيرة. بالاضافة إلى التسبب في تدهور حال المركبات، والجسور، والطرقات ذاتها، والتأثير شديد السلبية على النباتات التي تنمو على جانب الطريق السريع المعالج، سرعان ما يرشح التلوث بالملح إلى أسفل سطح الأرض. ولأن معظم النباتات لا تستطيع أن تنمو في الترب المالحة فإن إنتاجية الأرض تتناقص . يمكن للإستخدام المستمر أن يقود إلى تلوث آبار مياه الشرب.

معالف الحيوانات: Animal Feedlots

معالف الحيوانات (**animal feedlots**) هي المصدر الأساسي لتلوث المياه السطحية الغير نقطي. معالف الحيوانات هي أيضاً مساهمات مهمة في تلوث المياه الجوفية. ولأن معالف الحيوانات تتكوم،حرفياً، وتكون ساكنة (لفترات طويلة أحياناً). فإن مياه الجريان التي تحتوي على الملوثات ربما لن تدخل فقط إلى أقرب جسم مياه سطحية، بل ربما تسربت كذلك إلى التربة ملوثة إياها. إذا إستمر الانسياب الملوث،غير معاق، عبر الطبقة التحت سطحية فإنه قد يتخذ طريقه في نهاية المطاف إلى مكامن المياه الجوفية الضحلة.

المخصبات ومبيدات الآفات: Fertilizers and Pesticides

أصبحت المخصبات ومبيدات الآفات الركائز الأساسية للزراعة ذات المنتوج العالي. ولكن لهذه المواد أيضاً تأثير مهم على البيئة، وينتج كل واحد منها أنواعاً مختلفة من الملوثات.

حينما نستخدم المخصبات ومبيدات الآفات على التربة، هل نحن نعالجها– أم نسممها؟ هذا السؤال جديد نسبياً علينا– وهو سؤال ما زلنا نبحث له عن إجابة قاطعة. إلا أن هناك شيئاً مؤكداً، وهو أنه مع إستخدام المخصبات والمبيدات

الحشرية; والأثار طويلة المدى لهذه الممارسات; فإن المأزق الحقيقي هو أننا لا نعلم ما الذي لا نعلمه. نحن بدأنا الآن فقط، في رؤية وفهم تأثير إستخدام هذه المواد الكيميائية. وما زال أمامنا الكثير لنتعلمه. دعنا نلقي نظرة على قليل من المشاكل المعروفة في استخدام المخصبات ومبيدات الآفات الكيميائية.

تستخدم مخصبات **(fertilizers)** النتروجين لكي تحفز نمو النبات، لكن الكميات المستخدمة منها تكون أكبر،في العادة، مما يمكن للنباتات أن تستخدمه وقت الإستخدام. يمكن للنترات، أكثر الهيئات الكيميائية إستخداماُ من بين هذه المخصبات، أن ترشح بسهولة إلى أسفل منطقة الجزور بواسطة مياه الأمطار أو الري. وما أن تتحرك النترات إلى أسفل منطقة الجذور، فإنها تستمر عادة في الإنتقال إلى أسفل تجاه مستوى المياه الجوفية. حينما نضع إعتمادنا كلية على المخصبات الكيميائية، فإنها يمكن أن تغير من الخواص الفيزيائية والكيميائية والأحيانية للتربة –وهذه مشكلة جدية أخرى.

مبيدات الآفات **(pesticides)** (أي مادة كيميائية تستخدم لقتل، أو التحكم في المجموعات "غير المرغوبة" من الحيوانات، أوالفطريات، أو النباتات) ليست متحركة كالنترات، لكنها تكون سامة عند تراكيز أكثر انخفاضاً بكثير. مبيد الآفات المثالي يكون رخيص السعر، ويؤثر فقط على الكائن الحي المستهدف، وله نصف حياة قصير، ويتفكك معطياً مواداً غير ضارة. إلا أنه، وحتى الآن، لم يتم تطوير هذا المبيد المثالي، وهنا تكمن المشكلة متعددة الجوانب. مبيدات الآفات التي أستخدمت في الماضي–و بعض تلك المستخدمة اليوم– شديدة الاستقرارية، وتبقى لفترات طويلة، وربما أصبحت مشكلات طويلة الأمد. كما إنه من الممكن أن تنقل هذه المبيدات من مكان إستخدامها الأصلي إلى أماكن أخرى من العالم عن طريق تيارات الريح أو تيارات المحيطات.

المشكلة الأخرى ذات الصلة بالبقاء في إستخدام مبيدات الآفات أنها قد تتراكم في أجسام الكائنات الحية الموجودة في أسفل السلسلة الغذائية. يذكر إنه حينما يستقبل حيوان من أسفل السلسلة الغذائية كميات ضئيلة من مبيد آفات ما في غذائه، ولا يستطيع أن يتخلص منه، فإن التركيز في ذلك الكائن الحي يتزايد. تذكر أيضاً، إنه حينما تراكم الكائنات الحية في أسفل السلسلة الغذائية مقادير أعلى وأعلى من المواد داخل أجسامها، فإن ذلك يؤدي الى حدوث التراكم الحيوي. وفي نهاية المطاف، قد يمرر هذا الكائن الحي ما راكمه إلى الكائنات الحية الأعلى منه في السلسلة الغذائية، كذلك تعبر السموم المراكمة حيوياً إلى أعلى السلسة الغذائية وصولاً إلى أعلى المستويات.

الإنسكابات العرضية:
Accidental Spills

يمكن للإنسكابات العرضية (**accidental spills**) للمنتجات الكيميائية أن تكون مدمرة جداً لأيٍّ من الأوساط البيئية الثلاثة– الماء، والهواء، والتربة. وقد تسمح الإنسكابات الكيميائية، التي لا تكتشف مباشرة في أوساط التربة، للملوثات أن تهاجر إلى داخل وعبر التربة وصولاً إلى مستوى المياه الجوفية. وكقاعدة عامة مبسطة للغاية، يمكننا القول إن تأثير الإنسكابات الكيميائية في التربة (أو في أي وسط آخر) ترتبط بصورة مباشرة بالتركيز الموجود عند نقطة وزمن الإطلاق، والمدى الذي يتزايد به التركيز أو يتناقص أثناء التعرض، والزمن الذي إستغرقه التعرض. سيقال المزيد حول هذا الموضوع في الجزء الخامس من هذا الكتاب.

إنتاج السماد من الأوراق والنفايات الأخرى:
Composting of leaves and other wastes

أثبتت عملية انتاج السماد (**composting**)، التي هي عملية شائعة وسط العديد من مالكي المنازل (خصوصاً البستانيين منهم)، قيمتها كعملية صديقة

للبيئة من أجل التخلص من منتجات النفايات وإعادة إستخدامها بصورة مفيدة. إلا أنه حينما تكون المواد المستخدمة (الأوراق، وأفرع الأشجار، والمواد العضوية الأخرى) قد عولجت بالمبيدات الكيميائية، وبعض المخصبات، فإن إنتاج السماد من هذه المادة قد يكون ضاراً بالتربة. في عملية إنتاج السماد، تحلل المادة العضوية عبر عملية معالجة تحدث على إمتداد فترة زمنية. حينما يضاف الماء عن قصد بواسطة خرطوم رش الحديقة، أوعن طريق هطول مياه الأمطار فإن أي مواد كيميائية موجودة من الممكن أن تغسل أو ترشح من المادة العضوية المتحللة، وتصرف في التربة ملوثة إياها.

الممارسات الصناعية وتلوث التربة

Industrial practices and Soil Contamination

تشمل الممارسات الصناعية التي يمكن أن تلوث التربة إستخدام أحواض التخزين الجوفية، والتلوث من مواقع حقول النفط والتلوث من المواقع الكيميائية، والتلوث من مواقع الطاقة الحرارية الجوفية والتلوث من منشآت الغاز المصنع والتلوث من مواقع التعدين، ومن أي نشاط صناعي آخر ونتيجة لحرب الخليج، التلوث من أي إرهاب بيئي.

التلوث من مواقع حقول النفط:

Contamination from Oil Field Sites

يكرر الناس عادة مقولتين مستهلكتين – "للماضي طريقة في اللحاق بنا" و"إذا لم نتعلم من أخطاء الماضي فسوف نكررها". لكن المقولة المستهلكة تصبح كذلك لأنها صحيحة. وهاتان المقولتان صحيحتان قطعاً عندما نضع في الإعتبار مشاكل تلوث التربة من مواقع حقول النفط، التي هي مصدر لأحجام كبيرة من التربة الملوثة بالهايدروكربونات الناتجة من حقول النفط السابقة والحالية. مدى تأثير هذه المشكلة خاص بكل موقع. على سبيل المثال، إستكشافات النفط السابقة، والحالية، وأنشطة الإنتاج الموجودة في الأجزاء

النائية من أوكلاهوما وتكساس ليست مرئية بصورة كبيرة، ولذلك فهي ليست عرضة لتمحيص العامة. في هذه المواقع النائية، يكون التخلص من التربة الملوثة بالهايدروكربونات سهلاً وغير مكلف.

إلا أنه في المناطق العالية التمدن (مقاطعة لوس انجلوس،على سبيل المثال، حيث استغل أو يستغل 3,000 هكتار من العقارات ذات القيمة العالية للبترول الموجود بها). حينما يحدث هذا، يجلس المطورون وينتظرون على أحر من الجمر وصول هذه الحقول الموجودة إلى نهاية إنتاجها. وحينما يحدث ذلك، يتحرك المطورون مباشرة، ويعيدون تطوير العقارات العالية القيمة (من حيث الموقع ومن حيث قلة العقارات الموجودة). يكتشف المطور قليل المعرفة بسرعة، أن جفاف البئر لا يعني أن الأرض يمكن تطويرها وتسويقها مباشرة. في هذه المناطق يبرز التخلص من الترب الملوثات كمهمة جدية ومكلفة.

تشتمل المصادر الأساسية لتلوث التربة على/ أو بالقرب من العقارات المنتجة للبترول، آبار النفط،والمجارير، ومقالب النفايات، والتسرب من أحواض التخزين الفوق أرضية، والتسرب والإنسكاب. وتشمل المصادر الثانوية أحواض التخزين الجوفية، والمحولات وحفر الأنابيب، وسراديب الآبار، ومحطات الضخ. إضافة إلى ذلك، للمنشآت الثابته الضخمة المستخدمة لتَصفية النفط المقدرة على التسبب في تلوث مزمن عن طريق تفريغ مياه الصرف المحملة بالهيدروكربونات، وعن طريق الإنسكابات الصغيرة المتكررة. تشمل المكونات الأساسية الخطرة المرتبطة بحقول النفط طين الحفر ومكوناته، والميثان، والنفط الخام. حينما يحتوي الخام على مكونات محددة تتعدى تأثيراتها مستويات التلوث القصوى– مثل الزرنيخ، والكروم، والرصاص، والفينولات الثنائية متعددة الكلوريد– ولها نقطة إشتعال أقل من المعيار الأدنى الذي تضعه الجمعية

الأمريكية للاختبارات والمواد للمنتجات معادة التدوير فإنها تعتبر فضلات خطرة.

يوجد بالقرب من عدد من حقول النفط ملحقات معالجة مكتملة – مصافي،ومحطات، وخطوط أنابيب–تساهم أيضاً في الحجم الكلي للتربة الملوثة المولدة. الملوثات التي تثير القلق بصورة أساسية هي أمثال الزيت الخام، والمنتجات المصفاة، والمركبات العضوية المتطايرة .

التلوث من المواقع الكيميائية:

Contamination from Chemical Sites

سجل مسح بدكو–إكهارت (PEDCO-Eckhardt Survey) في العام 1979 (الذي يشار إليه عموماً كمسح إكهارت) لأكثر من 50 من أكبر شركات التصنيع في الولايات المتحدة، أن 16,843 طناً من النفايات المولدة عضوياً قد تم التخلص منها بصورة مناسبة في العام 1979. من هذا المجموع، لم يتم معالجة ما يزيد عن عشرة ملايين طن (ظلت موجودة في مكبات الأوساخ، والبرك، والبحيرات الضحلة، وفي آبار الحقن). وتم ترميد (incinerated) ما يقارب 0.5 مليون طن، وتم إعادة تدوير (recycled) أو إعادة إستخدام (reused) 0.5 مليون طن تقريباً. لم يتناول هذا المسح حجم التربة الملوثة الناتجة عن الأحداث التي حدثت لمرة واحدة.

تلوث التربة بالمواد الكيميائية العضوية هو أمر جدي. لبعض هذه المركبات العضوية آثار حيوية مدمرة، حتى عندما تكون تراكيزها ضئيلة. حينما تجد بعض المواد الكيميائية العضوية المعينة طريقها إلى التربة، فإنها إما تقتل، أو تثبط كائنات التربة الحية الحساسة أو تثبطها، الشئ الذي يقوض إتزان مجتمع التربة. وما أن يكون الملوث موجوداً على التربة، حتى يمكنه أن ينتقل منها إلى

الهواء، أو الماء، أو النباتات حيث يمكن إستنشاقه، أو بلعه، أو لمسه، على إمتداد منطقة عريضة، وبواسطة عدد من الكائنات الحية. وبسبب الأذى المحتمل منها، يتحتم علينا التحكم في إطلاق المواد الكيميائية العضوية وفهم مصيرها وتأثيراتها في التربة.

التلوث من مواقع الحرارة الجوفية

Contamination from Geothermal Sites

طاقة الحرارة الجوفية (**geothermal energy**) هي الحرارة الطبيعية المولدة أسفل سطح الأرض. يتكون الغلاف الأرضي،الذي يقع على بعد 15–30 ميلاً تحت القشرة الأرضية، من طبقة صخرية شبه مصهورة. يساعد الضغط المكثف الذي تسببه صخور الحديد والنيكل المذابة والعناصر النشطة اشعاعياً المتحللة الموجودة أسفل الغلاف على تسخين سطح الأرض. تقع طاقة الحرارة الجوفية،بصورة عامة، على عمق بعيد جداً يمنع إستئناسها، إلا أنه في بعض المناطق، التي إرتفع فيها الصخر المصهور إلى مقربة من سطح الأرض، عبر الشقوق الضخمة في القشرة، تكونت مخزونات جوفية من البخار الجاف، والبخار الرطب، والماء الساخن. وكما هو الحال مع ترسبات النفط، يمكن الحفر للوصول إلى هذه الترسبات، وإستخدام طاقتها لتسخين الماء، ودفع العمليات الصناعية، وتوليد الكهرباء.

بصورة عامة، تكون المصادر الحرارية الجوفية أكثر صداقة للبيئة مقارنة بالطاقة النووية، والوقود الأحفوري. إلا أن بعض مثالب إستخدام طاقة الحرارة الجوفية تؤثر بصورة سلبية جداً على البيئة. وكما هو الحال مع عمليات حقول النفط، توفر عمليات طاقة الحرارة الجوفية مثالاً آخر للعلاقة الوثيقة بين إستخدام الموقع وإمكانية حدوث تأثير بيئي سلبي. المكونان المرتبطان بمنشآت

الطاقة الحرارية الجوفية، واللذان يمكن إعتبارهما خطرين، هما الحلول الملحي المركز وقشرة منجم الرصاص (تستا 1997).

التخلص من مياه الصرف الصحي من آبار الحرارة الجوفية التي تحتوي على المحلول الملحي المركز (**brine**) (موائع حرارة جوفية ممعدنة مكونة من مياه مالحة دافئة إلى ساخنة تحتوي على الصوديوم، والبوتاسيوم، والكلور، والكالسيوم، وكميات قليلة من عناصر أخرى قد تكون ضارة بالنباتات والحيوانات) هو مشكلة رئيسية. المشكلة مع قشرة منجم الرصاص ذات صلة مباشرة أكثر،مقارنة بالمشاكل البيئية، بفشل بمعدات العملية. تنشأ هذه المشكلة من تكون القشرة في الأنابيب ومعدات العملية الأخرى، وقد يؤدي تكون القشرة هذا إلى فشل المعدات (تمزق الإنبوب،على سبيل المثال)، والذي ربما قاد بدوره إلى إنسكاب مائع الحرارة الجوفية ومؤدياً في النهاية إلى تلوث التربة، والهواء، و/أو الماء.

التلوث من منشأت الغاز المصنع:
Contamination from Manufactured Gas Plants

تصنيع الغاز ليس بالعملية الجديدة – منذ نهاية تسعينيات القرن التاسع عشر كانت منشآت الغاز المصنع (تقع 3000 منها تقريباً في الولايات المتحدة) تعمل، أو تم تحديثها، أو إعادة تطويرها بصورة كاملة بطريقة أو بأخرى. مشكلة تلوث التربة البيئية المرتبطة بمنشأت الغاز المصنع، هي إنتاج المواد القطرانية المنتجة بصورة أساسية من علميات تحويل الفحم إلى الغاز – كربنة الفحم، وغاز النفايات المكربن، أو الغاز الطبيعي، أو عمليات مركبة من ما سبق والتخلص منها.

فضلاً عن الفوضي الظاهرة التي يمكن أن تنجم عن أنتاج أي مادة شبيهة بالقطران، تكون المشكلة الرئيسية مع هذه المادة أنها معروفة بإحتوائها على

مركبات عضوية وغير عضوية تعرف بأنها مواد مسرطنة محتملة أو معروفة. يصل متوسط الحجم المتوسط للتربة الملوثة بالغاز إلى 10000 ياردة مكعبة لكل موقع (تستا 1997).

التلوث من مواقع التعدين:
Contamination from Mining Sites

نقلاً عن مصلحتي الداخلية والزراعة في الولايات المتحدة، منذ منتَصف ستينيات القرن التاسع عشر، تم تعدين سطح مايزيد على 3 مليون هكتار من الأراضي في الولايات المتحدة، بحثاً عن سلع مختلفة. يأتي الفحم على قمة قائمة السلع بالنسبة لعدد الهكتارات المستخدمة، يليه الرمل، والحصى والذهب، وصخور الفوسفات، وخام الحديد، والطين، على الترتيب.

قد تسبب عمليات التعدين تلوث الماء واليابسة. تلوث الرسوبيات عن طريق التآكل هو أكثر المشاكل ذات الصلة بالتعدين السطحي وضوحاً. تلويث الرسوبيات لأجسام المياه الطبيعية السطحية موثق جيداً . خليج جيسبيك، على سبيل المثال، ليس هو البيئة الخصبة المنتجة للمحار التي كانتها في الماضي. ألقى العديد من البيئيين باللوم في تدهور الخليج على المواد الغنية بالمغذيات، وعلى الملوثات الكيميائية. إلا أن الدراسات الحديثة على روافد الخليج، وعلى الخليج ذاته تشير إلى ان المحار ربما كان يعاني (ويختنق حرفياً) من الرسوبيات بدلاً عن تلوث المغذيات.

التأثير المعروف بدرجة أقل، بسبب قلة الدراسات المكتوبة عنه، هو تأثير رسوبيات التخزين وفضلات التعدين (من التعدين "mining"، والطحن "milling"، والصهر"smelting"، والبواقي"leftovers") على التربة. تشمل نفايات التعدين المعتادة، الحمض المنتج من عمليات تعدين الإسبستوس، وطحنه، والسيانيد المنتج من عمليات ترشيح كومة المعادن النفيسة، وسوائل

الرشح (**leach liquor**) المنتجة خلال عملية ترشيح مقالب النحاس، والمعادن المتحصل عليها من عمليات التعدين والطحن، والنويات المشعة (الراديوم) من علميات تعدين اليورانيوم والفوسفات.

أحد مصادر ملوثات التربة معروف وموثق جيداً كذلك: تجفيف ماء المعادن الحمضي (**acid mine drainage**) (إنظرالفصل 17). تذكر أن تكوين الحمض يحدث عندما يتفاعل الأكسجين من الهواء والماء، مع المعادن الحاملة للكبريت لكي يكون حمض الكبريتيك ومركبات الحديد. هذه المركبات قد تؤثر بصورة مباشرة على الحياة النباتية التي تمتصها، أو قد يكون لها تأثير غير مباشر على الغطاء النباتي لمنطقتها، عن طريق التأثير على معادن التربة والكائنات الحية المجهرية.

المشكلة الأخرى مع التعدين هي النفايات الصلبة. تكون المعادن ممتزجة دائماً مع المواد المزالة من المنجم. لهذه المواد قيمة تجارية ضئيلة، لذلك ينبغي التخلص منها في مكان ما. أكوام الصخور والحطام ليست فقط منظراً لا يسر الناظرين، بل إنها معرضة أيضاً للتآكل، كذلك يطلق التسرب السموم البيئية في التربة.

التلوث من الإرهاب البيئي:

Contamination from Environmental Terrorism

كثير من الأنشطة البشرية التي نتج عنها تلوث سيئ، كانت نتيجة للحوادث، أو التخطيط غير المحكم، أو القرارات الغير مدروسة، أو التصاميم الغير مناسبة، أو الصنعة غير المتقنة، أو الجهل، أو المعدات الخاطئة. في كل مرة يقرأ فيها العامة عن تلوث بيئي، أو يقيمونه او يشاهدونه يكون بإمكانهم إفتراض أن أحد

هذه العوامل هو السبب وراء التلوث – عامل الخطأ البشري – على الأقل كان هذا هو الحال قبل 1991.

غيرت حرب الخليج الأولى من هذه النظرة بلاشك . بعد حرب الخليج، كانت نصف آبار النفط الكويتية الألف وخمسمائة تقريباً تطلق النفط في البيئة. كان مايقدر بأحد عشر ألف مليون برميل نفطي إما محروقة أو كانت تسكب محتوياتها كل يوم، في 600 بئر. عندما كانت عملية غلق الآبار جارية وبعد أن تم غلق 200 بئر، إنخفض هذا المقدار إلى مايقارب 6 مليون برميل بنهاية الصيف. لم تكن الآثار الضارة على الجو والخليج العربي غير جزء من المشكلة فقط. تكونت أحواض كبيرة من النفط، بلغ عمق بعضها ما يصل إلى 4 أقدام، وقدر مجموع ما تحتويه بعشرين مليون برميل نفط (أندروس 1992).

المشكلة الأكبر، وذات المدى الطويل لهذا الفعل الإرهابي الصارخ ذات شقين: وجود أحواض النفط، والأحجام الضخمة من التربة الملوثة بالنفط.

دراسة الحالة 20-1
Case Study
الحقول البنية
Brownfields

تعرف وكالة حماية البيئة الحقول البنية بأنها " عقار– property"، قد يعقد من شأن توسيعه، أو تطويره، أو إعادة إستخدامه وجود أو إحتمال وجود مادة خطرة أو ملوث" أو " منشآت صناعية تجارية مهجورة، أوعاطلة،أو غير مستخدمة يعقد من تشغليها تلوث بيئي حقيقي أو متخيل)، توجد وفرة من المواقع للإستصلاح– تقدر وكالة حماية البيئة وجود حوالي

40,000 حقـل بنـي فـي الولايـات المتحـدة. تقـل مـستويات التلـوث فـي مواقـع الإستـصلاح المناسـبة عـن تلـك المدرجـة فـي قائمـة وكالـة حمايـة البيئـة للأولويـات الوطنيـة للمواقـع المحتويـة علـى مواد خطرة.

يساعد إستصلاح مواقع الحقول البنية في إبطاء تطوير مواقع "الحقول الخضراء" لغرض النمو الحضري. يشجع البناء على مواقع الضواحي والمواقع الريفية، بعيداً من مراكز المدينة، التمدد الحضري، كما يساهم ترك المواقع الصناعية المهجورة في الإضمحلال الحضري، الذي يتسبب في مشاكل إقتصادية، وبيئية، وإجتماعية في المناطق المجاورة. إلا أن، القلق من المسؤولية القانونية، والقلق من مستويات التنظيف المتوقعة، والتأخير في الأذونات المصدرة تجعل من إعادة تطوير مواقع الحقول البنية تحدياً للكيانات العامة والخاصة التي ترغب في العمل على مثل هذه المشاريع.

غير أن المشاريع الناجحة تشجع الأخرى. لوكالة حماية البيئة برامج لدعم تطوير مواقع الحقول البنية، كما يوفر قانون إعادة إحياء الحقول البنية لعام 2002 أدوات للقطاعين العام والخاص من أجل تشجيع عمليتي تنظيف وإعادة إستخدام مستدامتين، عبر دراسات تجريبية ومنح. بدأت هذه الإستثمارات تثبت جدواها الإقتصادية لعدد من المجتمعات. نتج عن إنفاق وكالة حماية البيئة على برنامجها للحقول البنية (الذي يقل عن 700 مليون دولار) حشد ما يزيد على خمسة مليارات دولار لدعم تنظيف وإعادة تطوير الحقول البنية من القطاعين العام والخاص، وأنتج 25,00 وظيفة جديدة.

ملخص الفصل Chapter Summary

من عدة نواحٍ، مثل تلوث التربة لعلم البيئة في تسعينيات القرن العشرين ما مثله تلوث الماء والهواء للعقود التي سبقت ذلك المشكلة البيئية الملحة والماثلة أمامنا. بينما كان من الصعب تطوير طرق للتحكم في الماء والهواء، من ناحية إجتماعية وسياسية، ما أن وضعت القوانين المنظمة موضع التنفيذ وبدأت في العمل بصورة جيدة، حتى أصبح من السهل نسبياً تحديد المشاكل التي تواجه البيئيين.

غير أن تلوث التربة يقدم لنا مشكلة جديدة. تنتج مواقع التلوث هذه، خصوصاً تلك الآتية من المواقع الجوفية القديمة (أحواض التخزين الجوفية، على سبيل المثال) لعبة تلوث صعبة "إستغماية". بينما تبرز تقنيات معالجة التلوث إشارات واعدة، وبينما لا يوجد نقص في المواقع التي تحتاج المعالجة، فإننا يجب أن نتذكر المواقع المخفية تحت أقدامنا.

دخل تلوث البيئة مجال إهتمامنا حينما كانت تقنيات المعالجة قد وضعت موضع التنفيذ، وحينما عرفت العامة أهمية تخفيف المناطق الملوثة– غير أنه، في هذا الوقت، أضعفت الهجمات السياسية من مقدرة الوكالات المنظمة على تنظيف المواقع الملوثة.

أسئلة ومسائل ومُناقشة

Discussion Questions and Problems

1. ما هو تلوث التربة؟ إشرح.

2. ميز بين تلوث التربة بسبب العوامل الطبيعية، وتلوثها ذي المصدر البشري.

3. أُكتــب قائمـــة بمـــا لا يقــل عـــن خمـــسة أصـــول لملوثـــات التربة.

4. أيَّ الصناعات هى المسؤولة أكثر، فى الوقت الحاضر، عن تلوث البيئة؟

5. كيف ترشح الملوثات عبر التربة؟ وما هو أثر ترشيح الملوثات عبر التربة؟ إشرح

مواضيع ومشاريع أبحاث مقترحة

Suggested Research Topics and Projects

- اجر بحثا عن خصوبة التربة فى منطقتك
- إجر بحثاً عن خصوبة التربة في بلد من بلدان العالم الثالث.
- إجر بحثاً عن دورة المحاصيل والزراعة من دون حرث في ضوء تحسين خصوبة التربة.
- تفحص ممارسات معالجة التربة لخصوبة التربة.
- إجر بحثاً عن أفضل التقديرات لمدى تلوث التربة في الولايات المتحدة.
- تفحص مصادر التلوث من منتجات البترول الأخرى: التخلص المباشر للزيوت المستخدمة على الأرض بواسطة الأفراد والصناعات والتسرب من مكبات الأوساخ، والمقالب الغير القانونية للنفايات، والحفر غير المبطنة، والبرك، والبحيرات الضحلة، والإنسكابات من حوادث النقل وحوادث المركبات.

- تفحص مصادر تلوث التربة والطبقة تحت السطحية تحت الأرض وفوق مستوى المياه الجوفية: أحواض الصرف الصحي، مكبات الأوساخ، البالوعات، والآبار الجافة، والمقابر، وأحواض التخزين الجوفية، والتسرب من خطوط الأنابيب الجوفية.

- تفحص كيف تساعد تفاعلات التربة على تحديد تراكيز الغازات الضئيلة الوجود.

- إشرح وأرسم كيف يمكن أن تنشأ مشاكل التلوث من التخلص الأرضي للنفايات الذائبة في الماء في المناطق ذات مكامن المياه الجوفية الضحلة.

- إجر بحثاً عن حوادث " التخلص الغير قانوني من النفايات".

- تفحص الممارسات الزراعية الحالية التي تسبب مشاكل التلوث الغير نقطية.

- إجر بحثاً عن آثار مبيدات الآفات على الشبكات الغذائية.

- إجر بحثاً عن تطوير العقارات البترولية المستصلحة عند المواقع البترولية.

- تفحص أرقام مسح إدكو إكهارت للتخلص من النفايات. إجر بحثاً وقدر المستويات الحالية للتخلص من النفايات.

- إجر بحثاً عن المزايا والعيوب البيئية للطاقة الحرارية الجوفية.

- تفحص آثار الرسوبيات على جودة المياه.

- تفحص مشاكل التلوث المرتبطة بالتعدين.

• إجر بحثاً عن المشاكل البيئية التي سببها الإرهاب البيئي في حرب الخليج– وكيف تمضي جهود المعالجة.

المراجع المثبتة

Cited References

Andrews, J. S., Jr. "The Cleanup of Kuwait." In *Hydrocarbon Contaminated Soils*, Vol. II, ed. P. T. Kostecki et al. Boca Raton, Fla.: CRC/Lewis Publishers, 1992.

PEDCO. *PEDCO Analysis of Eckhardt Committee Survey for Chemical Manufacturer's Association*. Washington, D.C.: PEDCO Environmental Inc., 1979.

Testa, S. M. *The Reuse and Recycling of Contaminated Soil*. Boca Raton, Fla.: CRC/Lewis Publishers, 1997.

Tucker, R. K. "Problems Dealing with Petroleum Contaminated Soils: A New Jersey perspective." In *Petroleum Contaminated Soils*, Vol. I., ed. P. T. Kostecki and E. J. Calabrese. Boca Raton, Fla.: CRC/Lewis Publishers, 1989.

World Resources Institute. *World Resources 1992–93*. New York: Oxford University Press, 1992.

المراجع المقترحة

Suggested References

Abdul, S. A. "Migration of Petroleum Product through Sandy Hydrologic Systems." *Ground Water Monitoring Review* 8, no. 4 (1988): 73–81.

Birkeland, P. W. *Soils and Geomorphology*. New York: Oxford University Press, 1984.

Blackman, W. C., Jr. *Basic Hazardous Waste Management*. Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers, 1993.

EPA. *Ground Water, Vol. I: Ground Water and Contamination*. Washington, D.C.: EPA, 1990.

Fetter, C. W. *Contaminant Hydrogeology*. New York: Macmillan, 1993.

Hillel, D. *Fundamentals of Soil Physics*. New York: Academic, 1980.

Holmes, G., B. R. Singh, and L. Theodore. *Handbook of Environmental Management & Technology*. New York: Wiley, 1993.

Kehew, A. E. *Geology for Engineers & Environmental Scientists*. 2nd ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1995.

Palmer, C. M. *Principles of Contaminant Hydrogeology*. Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers, 1992.

Testa, S. M., and D. L. Winegarden. *Restoration of Petroleum-Contaminated Aquifers*. Boca Raton, Fla.: CRC/Lewis Publishers, 1991.

الفصل الواحد والعشرون

تقنية التحكم فى تلوث التربة

Soil Pollution Control Technology

كانـــت الإســـتجابة لتلـــوث التربـــة تحـــت الـــسطحية فـــى الولايـــات المتحـــدة، كمـــا فـــى بلـــدان أخـــرى كثيـــرة، تعنـــي مجهـــوداً عظيمـــاً، لتعريـــف مـــدى التلـــوث أولاً، ولمعالجـــة الطبقـــة التحـــت ســـطحية– بـدءاً بـأكثر المواقـع تلوثـاً، ثانيـاً هـذه الحملـة البيئيـة كانـت مدفوعـة بـالقوانين المنظمـة الحكوميـة التـى تتعامـل مـع معالجـة الفـضلات والـتخلص منهـا، ومـع الأنـشطة الأخـرى التـي يمكـن أن تلـوث. أحـد الآثـار الجانبيـة لهـذا المـسعى كـان الإزدهـار فـى سـوق عمـل المهندسـين و علمـاء البيئـة الـذين يتخصـصون فـى الكـشف عـن تلـوث الطبقـة تحـت الـسطحية، و مراقبتـه، ومعالجتـه. وهكـذا ولـدت صـناعة جديـدة، ومـن الأكيـد أن أداء هـذا العمـل سـوف يستمر في القرن الواحد و العشرين.

Chapter Objectives أهداف الفصل

بعد دراسة هذا الفصل يجب ان تكون قادراً على ان:

- تُنـاقش كيـف أثـر قـانون الإسـتجابة البيئيـة الـشاملة، و التعويـضات و المـسؤولية القانونيـة و قـانون الحفـاظ علـى الموارد وإستعادتها على أبحاث وتقنية المعالجة.

- تَتَعــــرف علـــــى المــــشاكل المرتبطـــــة بـــــأحواض التخــــزين الجوفيـــة، وتُنـــاقش كيـــف تـــؤثر أحـــواض التخـــزين الجوفيـــة علـــى التربـــة والميـــاه الجوفيـــة، وتَـــصِف الأســـباب الـــشائعة لتسرب أحواض التخزين الجوفية.

- تَصِف الأسباب الشائعة لفشل أحواض التخزين الجوفية.

- تَـصِف كيـــف يمكـــن للتنـــصيب الـــسيئ للأحـــواض والأنابيـــب أن يؤثر على سلامة الحوض.

- تَتَعرف على تبعات الإنسكاب والملء الفائض.

- تَتَعـــرف علـــى المـــشاكل المرتبطـــة بعـــدم تـــوائم نـــوع الحـــوض مع محتوياته.

- تَتَعـــرف علـــى، وتنـــاقش العمليـــة المـــستخدمة لتقيـــيم خطـــر إنسكاب الهيدروكربونات أو التخلص منها.

- تَتَعـــرف علـــى، وتحـــدد مـــسارات تعـــرض البـــشر والبيئـــة المرتبطة بتلوث الهيدروكربونات.

- تَتَعـــرف علـــى، وتحـــدد الإختبـــار الإبتـــدائى، وعمليـــات أخـــذ العينـــات فـــى معالجـــة التربـــات الملوثـــة بموجـــب تقريـــر معهـــد أبحـــاث القـــوة الكهربائيـــة، ومعهـــد أديـــسون الكهربـــائي، ومجموعة أنشطة الفضلات الصلبة.

- تَتَعـــرف علـــى، وتَـــصِف الممارســـات الموضـــعية المقبولـــة لمعالجـــة التربـــة والتـــي تـــشمل التطييـــر، والتفكيـــك الحيـــوي،

والترشيح، والتغلغل الكيميائى، والمعالجة السالبة، والعزل/ والإحتواء، ومعالجة الأرض، والمعالجة الحرارية، و معالجة الأسمنت، والإستخلاص بطرق المياه الجوفية و بالطرق الكيميائية، و الحفر.

- تناقش العوامل التى تؤثر فى هذه العمليات، ومزاياها، وعيوبها، وفعاليتها البيئية.
- تناقش النزعة الحالية فى أساليب معالجة التربة، وكيف تؤثر الرأسمالية المغامرة، و القوانين المنظمة على التقدم والتغيير.

خطة الفصل **Chapter Outline**

- مُناقشة: بحث وتقنية المعالجة، والرأسمالية المغامرة.
- مُناقشة: أحواض التخزين الجوفية ومدى الدمار البيئى.
- وصَف ومُناقشة: أحواض التخزين الجوفية، والتآكل، والإنشاء المعيب.
- وصَف ومُناقشة: كيف يمكن لحوض تخزين جديد أن يفشل.
- وتَصِف ومُناقشة: التنصيب المعيب لأحواض التخزين الجوفية، و فشل الأنابيب، و الإنسكابات.
- وصَف ومُناقشة: أحواض التخزين الجوفية و عدم توائم المحتوى.

- وصَف ومُناقشة: إنسكاب الهيدروكربونات و تقييم خطر التخلص.
- وصَف وتناقش: المسارات الأولية و الثانوية للتعرض البشرى المباشر و التعرض البيئى.
- عمليات المعالجة، والقوانين المنظمة، والأساليب الموضعية، وغير الموضعية.
- وصَف: أساليب التطبير الموضعية، وكيف تؤثر عوامل التربة، والبيئة، والعوامل الكيميائية على نجاحها; والفعالية البيئية للعملية.
- وصَف: أساليب التفكيك الحيوي الموضعية، وكيف تؤثر عوامل التربة، والبيئة، والعوامل الكيميائية على نجاحها والفعالية البيئية للعملية.
- وصَف الترشيح الموضعي وأساليب التفاعل الكيميائي، وفعاليتها البيئية.
- وصَف: أساليب التزجيج الموضعي وفعاليتها البيئية.
- وصَف: أساليب المعالجة السالبة الموضعية وفعاليتها البيئية.
- وصَف: أساليب العزل/ الإحتواء الموضعية وفعاليتها البيئية.
- وصَف: الأساليب الغير موضعية.
- وصَف: أساليب المعالجة الأرضية، ومزايا وعيوب الطريقة.

- وصَـــف: أســـاليب المعالجـــة الحراريـــة، ومزايـــا وعيـــوب الطريقة.
- وصَـــف: أســـاليب إدمـــاج الأســـفلت، والأســـمنت، والطـــوب، ومزايا وعيوب العملية.
- وصَـــف: أســـاليب التـــصلب/ التثبيـــت و مزايـــا و عيـــوب العملية.
- وصَف: أساليب الإستخلاص الكيميائي.
- وصَف: أساليب الحفر، ومزايا وعيوب العملية.
- مُناقشة: النزعات الحالية فى تقنيات التنظيف المبتكرة.

المصطلحات الرئيسية Key Terms

asphalt incorporation	إدماج الأسفلت	adsorption site density	كثافة موقع الإدمصاص
brick manufacturing process	عملية تصنيع الطوب	beneficial reuse	إعادة إستخدام مفيدة
clay content	محتوى طيني	cement production process	عملية إنتاج الأسمنت
cradle-to-grave act	قانون من المهد الى اللحد	comprehensive ،environmental response compensation and liabilities act (cercla)	قانون الإستجابة البيئية الشاملة، و

			التعويضات، و المسؤولية القانونية
environmental factor	عوامل بيئية	chemical extraction	إستخلاص كيميائي
dose-response evaluation	تقييم التعرض	cold-mix asphalt process	عملية أسفلت المزج البارد
grout curtain	ستارة إسمنتية	dose-reponse curve	منحنى جرعة – إستجابة
		excavation	حفر
in situ isolation/containmen t	عزل/ إحتواء موضعى	exposure pathway	مسار تعرض
in situ passive remediation	معالجة سالبة موضعية	hot-mix asphalt process	عملية أسفلت المزج الساخن
insitu vitrification	تزجيج الموضع ي	in situ biodegradation	التحليل الحيوي الموضعى
infiltration galleries	معابر الترشيح	in situ leaching and chemical reaction	ترشيح و تفاعل كيميائي موضعي
		insitu technologies	التقانات الموضعية
land treatment	معالجة الأرض	volafilization	تطيير الموضعي
microbial	مجتمع	innovative cleanup	تقانة تنظيف

community	الأحياء الدقيقة	technology	مبتكرة
piping failure	فشل الأنابيب	land farming	زراعة الأرض
recycling asssessment	تقانة إعادة تدوير	management factors	عوامل الإدارة
risk assessment	تقييم المخاطر	non in situ technology	تقانة غير موضعية
secondary exposure pathways	سارات التعرض الثانوية	primary exposure pathways	مسارات التعرض الأساسية
slurry walls	جدران ملاطية	reuse	إعادة إستخدام
soil porosity and permeability	مسامية و إنفاذية التربة	risk characterization	تشخيص المخاطر
soil sampling	أخذ عينات التربة	sheet piling	تكويم الصفائح
surfactant	موتر سطحي	soil factor	عوامل التربة
thermal treatment	معالجة حرارية	soil remediation	معالجة التربة
water content	محتوى مائى	solidification/stabilization	تصليب/تثبيت
toxicological evaluation	تقييم السمية	superfound	دعم فائق

مقدمة Introduction

معالجة التربة أو معالجة الطبقة التحت سطحية، هى فرع قيد التطوير من علم و هندسة البيئة. بسبب البرامج التنظيمية لقانون (الإستجابة الشاملة والتعويضات، والمسؤولية القانونية للعام 1980- المعروف بصورة أفضل بالدعم الفائق) و(قانون الحفاظ على الموارد و إستعادتها للعام 1976- المعروف بصورة أفضل بقانون من المهد الى اللحد)، لم تضف المعالجة الى القاموس البيئى وحسب، بل أصبحت كذلك شائعة الإستخدام، وواسعة الإنتشار. فقط إلى أي درجة هى شائعة وواسعة الإنتشار؟

لكى تجيب بالصورة الأفضل عن هذا السؤال، تابع إستجابة الرأسماليين المغامرين ومحاولاتهم إحراز موطئ قدم فى هذا الحقل التقني الجديد. بخصوص هذه المسألة يشير ماكدونالد الى أنه:

فى بواكير التسعينيات، بدأ الرأسماليون المغامرون فى الإندفاع أفواجاً إلى سوق تقنيات تنظيف المياه الجوفية والتربة، ناظرين إليه على أنه يقدم إحتمالية ربح جديد معتبر. بدا السوق ضخماً ; ولم تكن التسعة مليارات دولار التي تنفق على تنظيف المواقع الملوثة فحسب، بل و كانت التقنيات الموجودة غير قادرة على معالجة عدد مشاكل التلوث الفعلية (1997، 560).

من تعليقات ماكدونالد (Mc Donalds)، بدا أن تقنية معالجة التربة مشروع مزدهر، بإمكانيات غير محدودة، و بصورة أساسية وبلا شك فإنه " فرصة لا تعوض" – الا ان المشكلات الموروثة تحد من مقدرتها. تقنية المعالجة هي سلاح ذو حدين- كما سوف نتناقش لاحقاً.

منذ بدء العمل بقانون الدعم الفائق وقانون من المهد إلى اللحد، طور عدد كبير من تقنيات المعالجة (المعروفة أيضا بتقنيات التنظيف المبتكرة

(**Innovative Cleanup Technologies**)، والتي أصبحت متوفرة بصورة تجارية. فى هذا الفصل سنناقش هذه التقنيات، خصوصا تلك التى صممت وقصد من ورائها تنظيف مصادر التلوث التحت سطحية التي تسببها أحواض التخزين الجوفية. نركز على التقنية المستخدمة فى معالجة التلوث الناشئ عن أحواض التخزين الجوفية الفاشلة بصورة أساسية، لأن هذه الوحدات كانت السبب فى غالبية أحداث التلوث و جهود المعالجة، إلى يومنا هذا. نتيجة لذلك تم تسجيل مجلدات ضخمة من المعلومات عن ممارسة المعالجة هذه، سواء من الجهات المنظمة أو الصناعات الخاصة الداخلة في تنظيفها.

ضع فى بالك إنه بغض النظر عن ماهية الملوثات فإن إزالة كل جزء من التلوث، وإعادة إستصلاح منظر الأرض الى وضعها الطبيعى، هو أمر بعيد الإحتمال (على الرغم من أنه على الأرجح هدف الوكالة المنظمة التى تراقب مجهود تنظيف حوض تخزين جوفى معين).

أحواض التخزين الجوفية: المشكلة

USTs: The Problem

فى الفصل 18 ناقشنا أحواض التخزين الجوفية، ومشاكل تلوث الطبقة التحت سطحية المرتبطة بها. فى هذا القسم سوف نلقي نظرة أقرب وأعمق على أحواض التخزين الجوفية، وأساليب المعالجة المستخدمة في تنظيف التلوث الذي تنتجه.

لا أحد يعرف، على وجه الدقة، العدد الدقيق لأنظمة أحواض التخزين الجوفية المنصبة فى الولايات المتحدة. على الرغم من ذلك تتراوح كل التقديرات في يومنا الحاضر فى حدود الملايين. عدة آلاف من هذه الأحواض_ شاملة ملحقاتها مثل الأنابيب_ هى الآن مسربة. لماذا تسرب الكثير من أحواض

التخزين الجوفية؟ تسربت أحواض التخزين الجوفية لعدة أسباب: التآكل، والإنشاء المعيب للحوض، والتنصيب المعيب، وفشل الأنابيب والملء الفائض والإنسكابات، وعدم التواؤم بين محتويات أحواض التخزين الجوفية.

مشاكل التآكل Corrosion Problems

السبب الأكثر شيوعاً لفشل الخزانات هو التآكل. بني عدد من الأحواض القديمة من فولاذ عادي غير محمي، مكون من طبقة واحدة، وقد سَرَّب فى الماضى (وتمت إزالته، كما نأمل)، أو يسرب فى الوقت الحالى، أو (ما يزال، او يعاد تأهيله) سوف يسرب فى المستقبل. إذا لم يكشف عن هذا التسرب أو تم تجاهله (حتى التسربات الصغيرة) فإن بمقدروه أن يسبب فقدان كميات كبيرة من المنتج البترولى إلى الطبقة التحت سطحية.

البناء المعيب Faulty Construction

كما هو الحال مع أي غرض مادي، فإن جودة أحواض التخزين الجوفية تأتي من جودة البناء، وحرفيته، والمواد المستخدمة فيه. فإذا جمعت غسالة ملابس بصورة غير مناسبة، فمن المرجح أنها سوف تفشل، عاجلاً أم آجلاً. وإذا صنع سلم ما من مواد غير مناسبة لكي تتعامل مع الحمل، فإنه ربما يفشل، و تبعات ذلك قد ينتج عنها جروح. وبإمكانك أن تشتق قائمتك الخاصة بالفشل الذي قد ينتج عن البناء الرديء أو البناء دون المستوى، أو الصنعة الغير المتقنة. وليست احواض التخزين الجوفية مستثناة عن الأغراض الأخرى. إذا لم تبنَ بصورة جيدة، و إذا كانت صنعتها رديئة فإنها سوف تفشل. الأمر بهذه البساطة– على الرغم من أن نتائج مثل هذا الفشل قد لا تكون بالبساطة ذاتها.

لكى تفهم كيف يمكن لأحواض التخزين الجوفية أن تفشل بسبب البناء و/ أو الصنعة الرديئة– والنتيجة النهائية لذلك–أنظر دراسة الحالة 21-1 و التى

تحكي عن حدث حقيقى (غيرت فقط الأسماء والمواقع) لفشل الحوض لهذه الاسباب.

دراسة الحالة 1-21 Case Study

أحواض أ.جي راوندوي A.J. Roundaway Tanks

شركة أ. جي راوندوي للأحواض، والتى تقع فى ساوثبورت بولاية فرجينيا، كانت تعمل فى مجال بناء الاحواض لستين عاماً. بنت هذه الشركة كل أنواع الأحواض: أحواضاً مربعة ضخمة، وأحواضاً مستطيلة، وأحواض دائرية، حتى أحواضاً الطلبيات الخاصة التي تكون مصممة بشكل فريد.

فى أيامها الباكرة كانت أ. جي راوندوي تبني أحواض فولاذ غير محمية عادية فقط، حتى مضت وكالات الحكومة قدماً بالقوانين الملزمة الجديدة التى تخص مشاكل تسرب الأحواض. وحينما حدث هذا، عرفت أ. جي راوندوي ما سوف يحدث. أحواض التخزين التى لا تصدأ أو تتآكل سوف تكون هى الأفضل. لذلك قام أيب بارسونز(Abe parsons)، مالك أ. جي راوندوي ببعض الأبحاث وخلص إلى فكرة إعادة التحديث التعديلي لمنشأته، و التحول من صنع أحواض الفولاذ العارية (القديمة) إلى العملية الحديثة نسبياً لصنع الحوض من مواد جديدة– مواد لا يمكن أن تتآكل، أو تصدأ، ولا يمكن حتى أن تُسرب.

مادة صنع الاحواض الجديدة التى دمجها أيب فى العملية، وتَعرف بالبلاستيك المعزز بالألياف الزجاجية (FRP). عرف أيب أن شركات بناء الأحواض الأخرى قد بدأت سلفاً فى صنع وبيع الأحواض المصنوعة من هذه المادة– لذا كان عليه أن يلحق بالركب. كان عليه أيضاً أن يحور منشأته بطريقة ما، وأن يدرب الأربعة عشر موظفاً الذين يعملون عنده على التقنية الجديدة. وكان ذلك مافعله. إستغرق التحديث التعديلي للمنشأة ستة أشهر، وخلال هذه العملية تم

تدريب موظفيه بصورة شاملة على كل جوانب بناء أحواض البلاستيك المعزز بالألياف الزجاجية. باع أيب أحواض البلاستيك المعزز بالألياف الزجاجية لعدد من السنين، و كان زبائنه مسرورين من منتجاته. لا شكاوى – حتى الآن – هكذا كان الأمر. كان أيب مسرورا.

إلا أنه سرعان ما تحطم سرور أيب. قبل أسبوع من عطلة عيد الميلاد للعام 1991، ومع غياب معظم موظفي أيب الدائمين فى عطلة، كانت المنشأة مشغلة من قبل طاقم هيكلي مكون من أربعة أشخاص فقط. خلال ذلك الأسبوع، إستلمت أ. جي راوندوي طلباً لثمانية عشر خزان وقود دائري يسع كل واحد منها 6000 جالون من منشأة تخزين بترول. في البداية، ظن أيب أن بمقدوره الإنتظار وبدء المشروع مع بداية العام الجديد. إلا أن الزبون قال بوضوح إنه يحتاج الطلبية في أقرب وقت ممكن، و من هنا بدأ تتابع الأحداث الذي قاد إلى الفشل "النهائي".

مع وجود أربعة عمال فقط في متناول يده، كان على أيب أن يتخذ قراراً – هل يجب عليه أن يتصل بموظفيه الآخرين وينهي عطلاتهم لكي يتمكن من صنع الخزانات الثلاث في المرة الواحدة كالمعتاد، وهي عملية تصنيع سوف تستغرق منهم اليوم بكامله، أم هل يجب عليه أن يستخدم الأشخاص الموجودين في متناول يده لكي يصنع خزاناً واحداً في اليوم؟ لسوء الحظ، إتخذ أيب القرار الثاني.

كان إثنان من العمال الأربعة المتوفرين لأيب مشكلي مواد لهما تقريباً أمد الخبرة نفسها (أقل من عامين)، بينما كان العاملان الآخران متدربين ذوو خبرة محدودة فقط في تصنيع البلاستيك المعزز بالألياف الزجاجية.

وعلى الرغم من ذلك، لم يكن أيب قلقاً، لأنه سوف يكون حاضراً هناك لكي يشرف علي العملية، وسوف يتبع العمال تعليماته ببساطة. كان يمكن لهذا السيناريو أن ينجح إستثناء أنه وبينما كان أيب بلاشك مالك الشركة، إلا انه لم يكن يفقه كثيراً في تصنيع أحواض البلاستيك المعزز بالألياف الزجاجية – حتى وإن ظن أنه يفعل.

جمع أيب عماله الأربعة، وطرح عليهم خطته وتعليماته. "سوف نكون قادرين على أن نبدأ بحالتنا هذه، وعندما يعود الموظفون المنتظمون، سوف تكون الكرة قد بدأت تتدحرج". هذا ما أخبرهم به. بدأت الكرة في التدحرج بشكل جيد. عمل إثنان من العاملين على أدوات الضغط المشكلة التي تستخدم لتكوين أنصاف الأحواض البلاستيكية. قام عامل آخر بقياس الدرزة[6] بين النصفين من أجل ضمان تحمل جيد، بينما راقب العامل الرابع، أحد أعضاء قوة العمل،ذو الخبرة التي تبلغ على وجه التحديد ثلاثة أسابيع، الآخرين وهم يعملون.

بعد تشكيل القطع، عمل العمال الأربعة سوية لوضع كل قطعة في مكانها، قبل عملية الإندماج الحراري التي تربط الطرفين في كلٍّ واحد، وغلاف الألياف الزجاجية ومعالجة الراتنج التي جاءت بعد ذلك. بعد تغليف الحوض بغلاف الياف زجاجية فوق طبقة من الراتنج وتركه لكي يتكون، رجع ثلاثة من العمال الأكثر خبرة للبدء في عملية التصنيع لحوض آخر، بينما أُعطي أحد العاملين وعاء راتنج وقطع لاصق وطلب منه أن يضع الألياف الزجاجية والراتنج عند المفاصل الحرجة، وينعمها، وأن يدعها تتكون قبل أن يصقل الحواف الخشنة.

كان الموظف الجديد متحمساً كونه أعطي مسوؤلية عمل شئ ما، أي شئ– خصوصاً في هذه الحالة، لأن التأكد من أن المفاصل مغلقة بصورة جيدة هو أهم جزء في المهمة (العملية). ظل أيب، بطبيعة الحال، مراقباً العامل الجديد

[6] مفصل يتكون من خط تكون نتيجة لإلتقاء قطعتين

بعين كعين الصقر، للتأكد من أنه لن يفسد الأمر. كان أيب سيساعد لو أنه كان يملك فكرة ما عن الطريقة المناسبة التي تغلق بها المفاصل.

بدأت المشاكل حينما وصلوا إلى الحوض الرابع، كان العمال (بمن فيهم أيب) متلهفين لإنهاء عمل اليوم والذهاب إلى منازلهم وأسرهم. سمح أيب للعامل الأول بالإنصراف قبل ساعة من الموعد – حوالي الساعة العاشرة صباح ذلك اليوم. فكر أيب أن نصفي الحوض الرابع كانتا قد شكلتا قبلاً (بدتا جيدتين بالنسبة له) لذلك كان من المنطقي أن يسمح لأحد العاملين بالذهاب. إستبقى أيب مساعد مشكل المواد فترة أطول، إلا أنه تركه يغادر بعد ساعة.

واصل أيب والعاملان الآخران العمل، ووضعوا القطع سوية وألصقوها في مكانها. عمل ثلاثتهم على إغلاق قسم المفصل العلوي أولاً (خطأ – كان عمّال أيب ذوو الخبرة يشتغلون على الجانبين في الوقت ذاته من أجل ضمان تناسب وثيق) حتى حوالي الساعة الثانية مساء. عندئذ قرر أيب إنه سوف يقلب الحوض على الجانب الآخر، ويدع المستجد يعمل عدة ساعات أُخر على مجموعة ثانية، ونهائية، من المفاصل، بينما يغادر هو والعامل الآخر لقضاء العطلة.

أراد المصنِّع المستجد أن يذهب إلى بيته هو الآخر. لكن بما أنه كان جديداً في الوظيفة، أدرك أنه ربما كان من الأفضل له أن لا ينبس ببنت شفة، وأن يفعل ما طلب منه. سوف يضع اللمسات الأخيرة على الحوض كلها بنفسه من دون وجود أحد يراقبه.

عمل المستجد وحيداً بإجتهاد شديد، إلاّ أن مشكلة حصلت. حينما حاول أن يدفع الشق الآخر لنصفي الحوض سوية (من أجل تضييق الفجوة بينهما) لم

يكونا ليتحركان لأكثر من نصِف بوصة أو ما إلى ذلك، عن موضعهما. ما الذي كان سوف يعمله؟ في البداية لم يعرف. ثم، وبينما هو جالس على مقعد في مواجهة الحوض، يشرب شراب بيض أعدته له صديقته الحميمة، بزغ أمامه الحل.

"سوف أشكل إسفيناً بلاستيكياً رفيعاً وأضعه في الفجوة، وسوف أستخدم أليافاً زجاجية أكثر بقليل وكمية أكبر من الراتنج. ثم أنتظر حتي تتكون، ثم أسّوي البقع الخشنة – هذا ما سوف أعمله". وهذا ما عمله فعلاً. ملأ الفجوة التي تبلغ ثلاثة أرباع البوصة بشريط رفيع من البلاستيك مثبت في مكانه بإستخدام الراتنج بوفرة عليه، ثم وضع شرائط غطاء ألياف زجاجية على طول الفجوة كلها، وكدس عليها عدة طبقات من الراتنج. بعد ساعتين من ذلك، كان للمستجد حوض مغلق تماماً – للناظرين، على أية حال. نظر المستجد في ساعته، ولاحظ أن الزمن قد تأخر ساعتين عن مواعيد إنصرافه المعتادة، وتحرك بسرعة لكي يضع ما أعتبره هو اللمسات الأخيرة على الحوض. سوف يأتي بعد عيد الميلاد ويسوي البقع الخشنة، ويكسوها بطبقة أخرى.

في اليوم الذي تلا عيد الميلاد، عاد العمال الأربعة الذين لم يكونوا في عطلة ممتدة. حرص المستجد على أن يلقي أيب والعمال الأربعة نظرة على عمل يده على الحوض غير متلائم الأجزاء. لم يلقِ هؤلاء إلى الحوض أكثر من نظرة عابرة، لأن الحوض بدا عند النظرة الخاطفة إليه لا بأس به – ولأنه كانت لديهم أحواض أخرى ليبدأوا العمل عليها، قبل ان تبدأ المجموعة الكاملة في العمل اليوم الذي يلي بداية العام.

طلب أيب من المستجد أن يواصل العمل، وأن يسوي المناطق الخشنة، وأن يضيف مزيداً من الراتنج عند الحاجة، وبعد ذلك سوف يزيحون الحوض عن الطريق ويدعونها لـ (تنضج). طلب أيب أيضاً من المستجد أن يختم الحوض

بمجموعة الرسم. شمل جزء من عملية التصنيع أن يعطى كل خزان رقماً وتاريخ ميلاد مرسومين. فعل المستجد ما طُلب منه، وبعد عدة طبقات من الراتنج، علق الحوض في المصعد العلوي، وحرّكه إلى مشاجب المعالجة والتخزين. ما أن إستقر الحوض في المشاجب حتى رسم عليه المعلومات كما طلب منه- الحوض رقم 91 – 606 (المعنيّ : الحوض ستمائة وستة للعام 1991 – 24 /12/ 91).

أنضج الخزان 91-606 لما يقارب الأسبوع، بعد ذلك تفحصه مفتش الأحواض المعتاد العائد من العطلة في اليوم الأول من بعد بداية السنة، والذي لاحظ أن جودة العمل تبدو وكأنها لم ترقَ إلى المعيار المعتاد، لكن عبر عينيه المحمرتين، بدا الحوض لا بأس به. كانت خطوته القادمة أن يجهز الحوض للإختبار الهيدروستاتيكي، للتأكد من أنه لا يسرب، وأن بمقدوره تحمل المقدار القياسي من الضغط.

خلال الإختبار الهيدروستاتيكي، لاحظ المفتش أن في مكبس الهواء مشكلة- ما أن فرغ المراكم(حيث يخزن الهواء للإستخدام السريع) بصورة أسرع من المعتاد، حتى أتى المكبس لفترة وأغلق قبل أن يمتلئ المراكم، وتحتم أن يعاد تشغيله من البداية في كل مرة. أعاد المفتش تشغيل المكبس عدة مرات، لكن إستراحة الغداء ستكون بعد نحو خمس دقائق، وكان المفتش يعاني من بقية مزعجة من آثار السكر (كانت ليلة العام الجديد شاقة)، لذلك حدث نفسه بأن الحوض لا بأس به، فضلاً عن ذلك كان عليه أن يتصل بعامل الكهرباء لكي يتفحص المكبس. لكنه ذهب إلى الغداء.

بعد الغداء، كان المفتش قد رأى كل ما أراد رؤيته من الحوض 91-606، لذلك ختم عليه "تم تفتيشه" ووقع الأوراق الرسمية، وقرر أن ياخذ إستراحة للتدخين، ويتناول حبة أسبرين أخرى.

في وقت لاحق من ذلك اليوم، حرك الحوض 91- 606 إلى المستودع، ووضع إلى جانب الأحواض الأخرى التي سوف تشحن لاحقاً إلى منشأة تخزين النفط، حينما ينتهي العمل على الخزانات الثمانية عشرة. مرَّ إسبوعان، وأكتملت الأحواض الثمانية عشرة، وشحنت ثم أرسلت إلى منشأة تخزين النفط.

كان الحوض 91- 606 هو خامس حوض يدفن في الأرض. لسوء الحظ، كان المقاول الذي يقوم بتنصيب كل الأحواض (بما فيها91 -606) مهتماً أكثر بإنجاز مهمته بسرعة، بحيث يمكنه أن ينتقل إلى أداء أشياء أكبر وأفضل. حينما تم نقل الحوض 91-606 بالونش من المنصة النقالة، تم وضعه بصورة غير مناسبة، وخبطه على الأرض و على خزانين آخرين (الشيء الذي أدى إلى كسر طفيف في الرابط وتكوين شق مفرقي في اللصقة التي أغلقت الفجوة ذات الثلاثة أرباع بوصة)، وبعد ذلك تم دفنه، بلا إحتفال، في الأرض – الأرض التي لم تُهيأ جيداً بالطبع. ما أن أصبح الخزان على شبه إستواء، وكل الانابيب موصلة، تحركت الحفارة ودفنته، ثم تحركت إلى حوض آخر.

خلال يومين من ملئه بوقود الديزل، بدأ الحوض 91-606 بالتسريب. في البدء، بدأت المحتويات في التسرب من شق صغير في القسم ذي فجوة الثلاثة أرباع بوصة، الفجوة التي ملأها المستجد إلى فمها بغطاء الألياف الزجاجية و بالراتنج. بعد ساعة من ذلك توسع الشق الصغير إلى شق غائر إمتد على طول الحوض، على إمتداد الدرزة غير المتساوية.

لاحظت منشأة تخزين البترول التسرب خلال يومين. قامت أداة الكشف عن التسرب،التي تتطلبها القوانين المنظمة، بعملها وشغلت الإنذار، مظهرة مؤشراً أن الحوض كان يسرب. المشكلة أن الحوض لم يكن يسرب فقط– بل كان فارغاً.

أصبح لدى منشأة تخزين البترول كابوس بيئي في أيديهم– أصبح هناك 6,000 جالون من وقود الديزل الآن في الأرض. ما عقّد الأمر أن الطبقة التحت سطحية، أسفل الحوض، كانت مكونة من مادة مدمجة إنتهت بصورة سريعة عند الوجه البيني للطين (الطبقة الغير المنفذة). أوقف الطين السريان العمودي للنفط، لكنه لم يوقف سريانه الأفقي. إنساب النفط متبعاً المسار الأقل مقاومة، بصورة أفقية (متبعاً مسار المياه الجوفية، في الواقع) حتى نبع عند بروز صخري فوق عدة أقدام من غدير سيدار، حيث أُفرغ ملوثاً الغدير.

اليوم، لم تعد شركة أ. جي راوندوي لتصنيع الأحواض تعمل. أغرقت الدعاوى القضائية، وتكلفة التقاضي، وتكاليف الغرامات الناتجة والمخالفات من المسئولين المحليين، والولائيين، والفدراليين الشركة في نهاية الأمر. لكن هل كانت الدعاوى القضائية حقاً هي السبب، أم أن العامل المسبب كان شيئاً آخر؟ كن أنت الحكم.

التنصيب المعيب Faulty Installation في دراسة الحالة 21-1 أشرنا إلى إساءة التعامل مع الحوض 91–606 أثناء التنصيب، والإعداد غير

المناسب للموقع.إضافة للمعالجة الحذرة للحوض ذاته، و أي من توابعه، يجب أن يكون مستقر الحوض معداً بصورة خاصة لكي يستقبل الحوض عند دفنه.

أهم خطوة في تنصيب الحوض، على الأرجح، هي ضمان توفر وجود دعامة مناسبة لضمان عدم حدوث أي حركة ممكنة للحوض، بعد أن يوضع في الأرض. أي حركة من هذا النوع، لن تؤدي إلى تحطيم الحوض فحسب (خصوصاً أحواض البلاستيك المعززة بالألياف الزجاجية)، بل وسوف تهلهل أي توصيلات أنابيب، أو تفصل مفاصل الأنابيب. من تجاربنا نقول إن الفشل في ايلاء عناية خاصة لعملية التنصيب سوف ينتج عنه تسربات.

يجب ان نولي عنايتنا أيضاً لضمان أن أدوات الكشف عن التسرب الجوفي، قد تم تنصيبها بصورة حذرة ودقيقة. ومن الواضح أنه إذا كان الحوض مسرباً، فإن معرفة ذلك في أقرب وقت ممكن هو الأفضل- الشيء الذي يسمح بالشروع في عملية المعالجة بصورة سريعة، قبل أن يتحول إنسكاب ضئيل إلى حادث تلوث بيئي فظيع.

فشل الأنابيب Piping Failure

ذكرنا فشل أنابيب **(piping failure)** الحوض الناتج عن التنصيب غير المناسب، إلا أن الانابيب قد تفشل بطرق أخرى كذلك. قبل أن نناقش هذه الطرق. إنتبه إلى أن وكالة حماية البيئة، والمحققين الآخرين أشاروا إلى أن إنفصال الأنابيب هو واحد من أكثر المسببات شيوعاً للإنسكابات "الأكبر" من أحواض التخزين.

إذا استخدمت الانابيب المعدنية لوصل الاحواض مع بعضها البعض، أو مع مضخات النقل، أو مخابئ الملء، أو لأي سبب آخر، فإن خطر التآكل من

الصدى أو من الفعل الإلكتروليتي يكون حاضراً دائماً. يحدث الفعل الإلكتروليتي لأن الانابيب الملولبة (threaded) (أو الأجزاء المعدنية الأخرى التي جُعلت نشطة كهربائياً بفعل اللولبة) لها نزعة قوية للتآكل مالم تغطَّ بصورة مناسبة، أو تحمى بصورة أو أخرى. تنصب الحماية الكاثودية **Cathodic (Protection** عادة من أجل درء الفعل الإلكتروليتي.

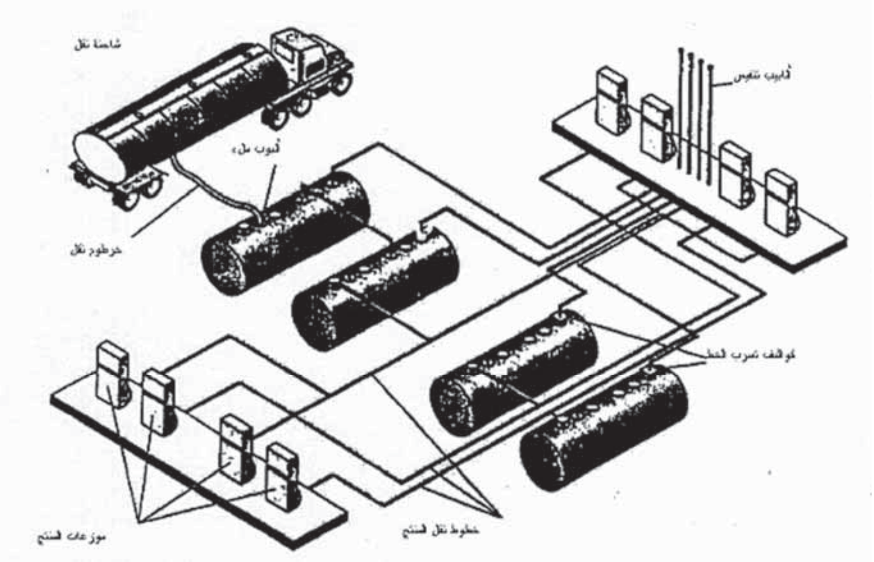
يسبب فشل الأنابيب احياناً بالصنعة غير المتقنة، والتي تظهر عادة حول مفاصل الأنابيب غير المحكمة (سواء الأنواع الملولبة أو أنواع بي في سي)، وعدم إحكام تثبيت المفاصل، و حوادث البناء، والتنصيب غير الجيد لحشية الغطاء. يظهر الشكل21-1 نموذجاً لمخطط حوض محطة خدمة، لاحظ امتداد الانابيب في المحطة.

الإنسكابات و الملء الفائض Spills and Overfills

جميع منشآت احواض التخزين الجوفية هي عرضة للتلوث البيئي الذي يحدث نتيجة للإنسكابات وللملء الفائض – والتي تكون عادة نتيجة للخطأ البشري. على الرغم من أن وكالة حماية البيئة قد روجت لطرق ملء الأحواض في قوانينها المنظمة 40 القانون الفيدرالي 280، وأصدر الإتحاد الوطني للحماية من الحرائق (NFPA) موجهات NFPA –385 لملء الخزانات، تحدث الإنسكابات من الملء الفائض بصورة متكررة. الملء الفائض لأحواض التخزين الجوفية سيء بما يكفي في حد ذاته، إلا أن مشكلة التلوث البيئي تزداد تعقيداً حينما يتكرر حدوث هذه الأفعال. منتجات البترول أو الفضلات الخطيرة

يمكن،حرفيــا، أن تــشبع منطقــة الإنــسكاب وتزيــد مــن شــدة تآكــل التربة (بلاكمان1993).

كيــف تحــدث إنــسكابات أحــواض التخــزين الجوفيــة مــن المــلء الفــائض؟ أشــرنا قــبلاً إلــى أن أكثــر الأســباب الــشائعة هــو الفــشل البــشري. أنظــر دراســة الحالــة 21-2 لمثــال (حــادث حقيقــي، غيــر أن الأسماء والمواقع قد غيرت)



الشكل 21-1 نموذج لمخطط حوض محطة خدمة و أنابيبه.

دراسة الحالة 21-2
Case Study
الخطأ البشري
Human Error

وصلت سائقة الشاحنة إلى موقع المنشأة في الصباح الباكر من يوم الإثنين. أوقفت السائقة عربتها، وخرجت منها، ومشت إلى مكتب المنشأة. في المكتب،

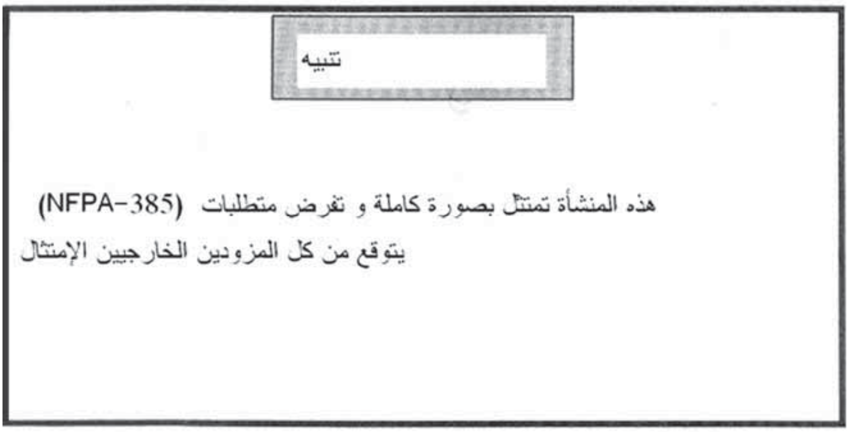
حياها موظف المنشأة وسألها عما يمكنه عمله لمساعدتها. ذكرت السائقة أن في شاحنتها حملاً من نفط الوقود من الدرجة الثانية، تود أن توصله، وسألت عن الإتجاهات إلى حوض الإستلام. قال الموظف إنه من الأسهل لها أن تتبعه في شاحنتها، بينما يمشي هو إلى الحوض، وأراها مكانه بدقة.

عند الحوض، ركنت السائقة الشاحنة، وخرجت منها وشغلت خرطوم الملء من الشاحنة إلى منفذ الملء. رفعت الغطاء عن المنفذ، وأدخلت فيه عصاة القياس لكي تحدد مقدار الوقود الذي كان في الحوض، وبعد أن حددت أن الحوض الذي يتسع لخمسة آلاف جالون تقريباً كان فارغاً تقريباً، أدخلت فم الخرطوم في منفذ الملء ثم رجعت إلى الشاحنة، حيث نشطت مضخة ملء الشاحنة والتي شحنت الخرطوم بدورها إلى الحوض. وحينما استوثقت من أن الخرطوم كان مؤمناً (غير مسرب، وفي موضع مناسب) نشطت آلة زناد فم الخرطوم، ثم بدأ الحوض بالإمتلاء.

وقفت السائقة على فم الخرطوم لدقيقة أو إثنتين، ثم عادت إلى الشاحنة، ودلفت إلى المقعد، وأشعلت سيجارة وحدقت في الفراغ بينما ذهنها غارق في أفكاره.

لو كانت عيناها مركزتان على الجسم المقابل لها، لرأت لافتة التحذير معلقة على عمود طوله خمسة أقدام أمامها (أنظر الشكل21-2)، غير أنها لم ترَ اللافتة، وبعد عدة نفثات من السيجارة قررت أن تريح عينيها. و ما هي إلا دقائق معدودة حتى غرقت في نوم عميق، وفي أثناء ذلك كان الحوض يمتلئ بصورة منتظمة.

اللافتــة الموضــحة فـــي الـــشكل 21-2 هـــي لوحـــة تحـــذير قياســـية تـــستخدم عنـــد بعـــض المنـــشآت، لكـــي تتبـــه ســـائقي شـــاحنات التوصـــيل أن المنـــشأة مدركـــة جيـــداً بالقاعـــدة NFPA-385، التـــي تـــوفر الطـــرق المناســـبة للإســـتخدام فـــي عمليـــة مـــلء الحـــوض. كانـــت الـــسائقة مدركـــة لهـــذه التوجيهـــات، لقـــد رأتهـــا (وحتـــي أنهـــا إتبعتهـــا بـــصورة مناســـبة) عـــدة مـــرات مـــن قبـــل – التوجيهـــات التـــي تـــنص علـــى أن الـــسائق يجـــب ان يظـــل منتبهـــاً، وأن يكـــون متحكمـــاً فـــي عمليـــة المـــلء فـــي جميـــع الأوقـــات، كمـــا يجـــب أن يقـــف علـــى مقربـــة مـــن أداة إغـــلاق الطـــوارئ بحيـــث يـــصل إليهـــا فـــي حالـــة المـــلء الفـــائض للأحـــواض. كانـــت مدركـــة لهـــذه المتطلبـــات، وعـــادة مـــا كانـــت تلقـــي بالهـــا إلـــى ماكانـــت تفعلـــه، إلا أن معرفتهـــا الوثيقـــة بهـــذه القواعـــد – وثقتهـــا فـــي مقـــدراتها الخاصـــة – قللـــت مـــن قوتهـــا. لـــم تـــصادفها قـــط مـــشكلة مـــلء فـــائض فـــي الـــسنين الـــست الأخيـــرة مـــن عملهـــا فـــي هـــذه الوظيفـــة، لـــذلك لـــم تكـــن هـــذه الموجهـــات مهمـــة إلـــى درجـــة كبيـــرة بالنـــسبة لهـــا. و فـــضلاً عـــن هـــذا كلـــه كـــان عقلهـــا فـــي مكـــان آخـــر. وســـرعان مـــا فقـــد فـــي الـــضباب الـــذي يـــسمي بالنوم.



الشكل 21-2 تنبيه NFPA-385 ينبه سائقي شاحنات الوقود أن المنشأة على علم بالمتطلبات المثلى لملء أحواض الوقود، كما هو متحدد من قبل الموجهات الوطنية للحماية من الحرائق.

بعد حوالي 30 دقيقة، وبينما كانت السائقة تغط في نوم عميق، إمتلأ الحوض إلى سعته ثم فاض – إلى المكان الوحيد الذي يمكنه أن يفيض إليه – الأرضية المكسوة بالعشب، المحيطة بمنطقة الحوض. فاضت 16،000 جالون تقريباً من نفط الوقود من الدرجة الثانية، وصنعت بحيرة صغيرة حول منطقة الملء، حتى لاحظ أحدهم (مشغل منشأة إتفق أن كان ماراً بالجوار) بحيرة نفط الوقود التي كانت تغطي الآن ما كان منطقة معشبة في الماضي.

في البداية وقفت المشغلة هناك مصدومة، ومندهشة (على أقل تقدير) ومترددة إلى حد ما بخصوص ما يجب عليها أن تفعله، أدركت بسرعة أنها بحاجة إلى أن تجد مكان سائقة الشاحنة – وهذا ما فعلته، وجدت المشغلة السائقة في المقعد الأمامي من قمرة الشاحنة – ما زالت مستغرقة في نوم عميق.

صرخت المشغلة في السائقة وهزتها بعنف حتى أيقظتها وذكرت لها المشكلة. قفزت السائقة التي مازالت مترنحة قليلاً، من

الشاحنة و شغلت مفتاح الطوارئ لكي تغلق المضخة. كان هذا متأخراً بالطبع، لكن التأخر أفضل من تفريغ جميع حمل الشاحنة.

العواقب الكارثية لهذا الإنسكاب كانت روتينية. أخطر مدير المنشأة الذي كان متضايقاً بشكل ما (كما يمكنك أن تكون قد خمنت) الوكالات المنظمة ذات الصلة بحدوث الإنسكاب، بينما اتصل مشرف المنشأة بفريق المواد الخطرة في المنشأة لكي يستجيب للإنسكاب.

فعل فريق المواد الخطرة المدرب جيداً تحت موجهات NFPA472-473 ومعيار عمليات النفايات الخطرة والإستجابة عند مكان الطوارئ الذي حددته إدارة السلامة و الصحة المهنية أفضل ما يمكنهم فعله لإحتواء التسرب بإستخدام حاجز إحتواء النفط في المنشأة (الذي كان قصيراً جداً بحيث تعذّر أن يحيط بمنطقة الإنسكاب بكاملها، بعد ذلك عززوه بجرف الترب لبناء نظام ترس ترابي حول الإنسكاب)، والمضخات اليدوية بإستخدام البراميل ذات سعة 55 جالوناً لتجفيف الحوض السائل عن طريق الضخ- إلا أن معظم الإنسكاب كان قد تسرب إلى الأرض.

إتصل مدير المنشأة بمقاول مواد خطرة محلي لكي يساعد في عملية التنظيف، بعد أن أخطر الأطراف الرئيسية بحدوث الإنسكاب. خلال الايام الثلاثة التي تلت، حفر المقاول التربة، والتي أودعت شاحنة نفايات، بعد شاحنة نفايات، ونقلت بعيداً بغرض التخلص منها، وحينما أزال الحفر ما ظن أنه كل التربة

الملوثة، ترك موقع الحفر الذي بلغ عمقه 20 قدماً لكي" تتم تهويته".

وبينما ظلّ موقع الحفر مفتوحاً، إستأجر مدير المنشأة شركة تفتيش لكي تأتي وتقوم بعملية تفتيش كاملة للحوض. كان الحوض مازال سالماً، لذلك بعد حوالي أسبوع عاد المقاول بعدة أحمال من مادة الملء وأفرغها في منطقة الحفر. أمر مدير المنشأة مراقبها أن يغرس عشباً أكثر ويضيف عدة أزواج من الأشجار الشابة إلى التربة الجديدة.

كانت التكلفة النقدية الكلية لهذا الحادث بعينه 19,855.00 دولار امريكي. دفعت المنشأة الفاتورة التي عوضت قيمتها في ما بعد من شركة شاحنة الوقود. فصلت سائقة الشاحنة. إلا أن الشائعات تقول أنها وجدت وظيفة جديدة خلال أسبوع، وهي تعمل الآن في محطة خدمة وتضخ الجازولين في العربات.

أن يحدث الحادث المذكور في دراسة الحالة 21-2 يبدو في الواقع أمراً غريباً في نظر البعض، ومضحكاً لآخرين، وإجرامياً في نظر الجهات المنظمة، ومثار حرج للمتسببين به، أليس هذا هو الحال دائماً في كل مرة يلعب فيها الخطأ البشري دوراً؟ وبغض النظر عن الطريقة التي يتصف بها هذا الحادث، فإن بعض الاشياء أكيدة. لقد حدث – وسيستمر في الحدوث. وسوف يحدث مرة اخري.

ملاءمة المحتويات لأحواض التخزين الجوفية Compatibility of Contents and USTs

كما هو واضح، يجب أن تخزن المواد في الحاويات التي سوف تحتويها وتحفظها. وعلى الرغم من أنه يبدو واضحاً، إلا أننا يجب أن لا ننسى أن وضع المواد الحاتة في حاويات غير معدة لاحتوائها هو بمثابة التفتيش عن المشاكل. المواد الكيميائية الجديدة (بما فيها الوقود) تطور في كل الاوقات. وعادة ما يكون الدافع لتطوير مثل هذه الأنواع من الوقود هو الحصول على جودة هواء محسنة. إلا أن تطوير جودة الهواء يفعل القليل من الخير على حساب الوسطين الآخرين (الماء والتربة) إذا ما كان الوقود الجديد غير المتوائم مع حوض التخزين المعين يهددهما.

السواد الأعظم من أحواض التخزين الجوفية المستخدمة حالياً هي أحواض بلاستيك معزز بالألياف الزجاجية، وضعت في مكانها كي تحل محل أحواض الفولاذ القديمة العارية، و الغير محمية.

أحواض البلاستيك المعزز بالألياف الزجاجية مجهزة (ويمكن تحويرها بإستخدام بطانة مختلفة) لكي تخزن منتجات الوقود الشائعة الإستخدام الآن بصورة آمنة. تحدث المشكلة عندما يطور مزيج جديد غريب من الوقود ويوضع في حوض بلاستيكي معزز بالألياف الزجاجية غير متوائم معه.

تشمل مشاكل عدم التوائم الشائعة التي تمت ملاحظتها التقرحات والتوتر الداخلي والتشقق أو تآكل الغشاء الداخلي. للمساعدة في الوقاية من مشاكل أحواض البلاستيك المعززة

بالألياف الزجاجية المبنية او المبطنة، وضع المعهد الامريكي للنفط معياراً يرجع إليه في كل مرة تستخدم فيها الخزانات الموجودة لمنتجات وقود مختلفة.

تقييم المخاطر Risk Assessment

المشاكل المرتبطة بإنسكابات الهيدروكربونات أو التخلص هي مشاكل معقدة. يخفف من وطأة هذا التعقيد،إلى حد ما، بإستخدام عملية تقييم المخاطر التي تمكن العلماء ومسؤولو الجهات المنظمة والمديرون الصناعيون من تقييم المخاطر المرتبطة بإطلاقات الهيدروكربونات (أو أي إطلاق لمواد كيميائية سامة) إلى التربة والمياه الجوفية على الصحة العامة. تتكون عملية تقييم المخاطر من الخطوات الأربع التالية:

1. تقييم السمية **(Toxicological Evaluation)** (التَعرف على المخاطر) : يجب أن يجيب عن السؤال "هل لهذه المادة الكيميائية أي أثار وخيمة؟" العوامل التي يجب أن توضع في الإعتبار أثناء تقييم السمية لكل ملوث تشمل مسارات التعرض (البلع، الإمتصاص، والإستنشاق)، أنواع الآثار، وموثوقية البيانات، والجرعة، وأثر المزيج، وقوة الدليل الذي يدعم خلاصات تقييم السمية.

2. تقييم جرعة– إستجابة **(Dose-Response Evaluation)** : ما أن يجري تقييم سمية المادة الكيميائية، وتشير نتائجه إلى أنه من المرجح أن يسبب أثراً وخيماً معيناً فإن الخطوة التالية لذلك هي تحديد قوة المادة الكيميائية، يستخدم منحنى جرعة – إستجابة (إنظر الفصل

الخامس) لوصَف العلاقة الموجودة بين درجة التعرض للمادة الكيميائية (الجرعة) ومقدار الأثر (الإستجابة) في الكائنات الحية المتعرضة.

3. تقييم التعرض (**Exposure Assessment**): يجري من أجل تقييم مقدار التعرض الحقيقي والمحتمل، التردد، وطوال فترة هذه التعرضات، والمسارات التي يمكن للبشر أن يتعرضوا لها عن طريقها.

4. تشخيص المخاطر **Risk characterization**: الخطوة الاخيرة في تقييم المخاطر، تشخيص المخاطر هو عملية تقدير إمكانية حدوث أثر صحي وخيم تحت ظروف التعرض الموجودة والموصوفة في تقييم التعرض (إنظر إرهارت وآخرون ;ICAIR 1985 1986 ; بلاكمان1993).

مسارات التعرض

Exposure Pathways

تقييم مسارات التعرض (**Exposure Pathways**) الناتجة من أداء خيار المعالجة المختار لتخفيف تسرب أو إنسكاب أحواض التخزين الجوفية، مهم بدرجة أهمية إنجاز وتقييم النتائج من الخطوات الأربع الداخلة في تقييم المخاطر. يمكن مواجهة مسارات التعرض أثناء حفر الموقع، والتنصيب، والعمليات، والصيانة، والمراقبة. تتكون مسارات التعرض من فئتين: مسارات التعرض البشري المباشر، ومسارات التعرض البيئية. تقسم هاتان الفئتان بدورهما إلى مسارات تعرض أساسية وثانوية.

مسارات التعرض الأساسية: تؤثر بصورة مباشرة على عمليات الموقع والعاملين به (التماس مع الجلد أثناء أخذ عينات التربة،

علـــى ســـبيل المثـــال) أو تـــؤثر بـــصورة مباشـــرة علـــى مـــستويات التنظيـف، التـي يجـب أن تنجـز عبـر تقنيـة المعالجـة (علـى سـبيل المثـال، حينمـا يكـون التـأثير علـى التربـة هـو الأمـر الأساسـي فـي الموقـع، يتحـدد التـأثير علـى التربـة مـستويات التنظيـف والإطـار الزمني له حينما ينتهي التنظيف).

مـــسارات التعـــرض الثانويـــة : تحـــدث كمكـــون فرعـــي أثنـــاء العمليـات علـى الموقـع (الغبـار الـذي تـذروه الريـاح، علـى سـبيل المثـال)، تبـرز تناقـصاً واضـحاً مـع مـرور الـزمن، ومـع تقـدم عمليـة المعالجة (إي آر بي و إي إي آي1988).

معالجة الترب الملوثة بأحواض التخزين الجوفية

Remediation of UST-Contaminated Soils

قبل الشروع في معالجة التربة الملوثة بالنفط من أحواض التخزين الجوفية يجب أن تتخذ عدة خطوات إبتدائية. أخذ عينات التربة (**soil sampling**) مهم، ليس فقط من أجل التأكد من أن الحوض يسرب في الحقيقة، بل وأيضاً من أجل تحديد مدى التلوث. أي منتج بترولي يظل موجوداً في داخل أحواض التخزين الجوفية ينبغي أن يضخ إلى الخارج، إلى أحواض حجز فوق التربة، أو في حاويات، قبل أن تحفر التربة ويزال الحوض. كما تجب إزالة أي وقود متبقٍ قبل عملية الحفر، بسبب الدمار المحتمل الحدوث على الحوض أثناء عملية إزالته. يجب أن يتحدد نوع تقنية المعالجة التي سوف تستخدم في عملية التنظيف في الموقع عند إكتمال عملية أخذ العينات وتحديد مدى التلوث، وإزالة حوض التخزين الجوفي.

أجرت عدة منظمات، وصناعات بيئية، ووكالات منظمة إستقصاءات فنية وتقييمات لعدة مناحي لطرق معالجة الهيدروكربونات البترولية في التربة، ومصير، وسلوك الهيدروكربونات البترولية في التربة والتحليل الاقتصادي. صناعة الكهرباء هي، بلا شك، واحدة من الصناعات في الجبهة الأمامية لإجراء مثل هذه الدراسات. تمتلك هذه الصناعة المعينة، وتشغل عدداً من أحواض التخزين الجوفية، كما تشغل وتمتلك منشآت لإستخدام ونقل المنتجات البترولية، وبصورة أساسية وقود المحركات ووقود التسخين.

طورت وكالة حماية البيئة قوانين منظمة فدرالية من أجل تقليل آثار الدمار البيئي من أحواض التخزين المسربة و من أجل التحكم فيه. وطورت عدداً من الولايات، والمحليات، ونفذت قوانين منظمة متشددة تحكم أحواض التخزين الجوفية، وأفعال معالجة إطلاقات المنتج إلى التربة وإلي المياه الجوفية. ونتيجة لذلك أجرى معهد أبحاث القوة الكهربائية، ومعهد أديسون الكهربائي، ومجموعة أنشطة الفضلات الصلبة في مجهود تعاوني، إستقصاءاً فنياً. ومن النتائج التي توصلت إليها هذه المنظمات كتابة تقريرٌ بعنوان "أساليب معالجة أحواض التخزين الجوفية المسربة"، هذا التقرير الذي صدر في عام 1988 يركز على واحدة من أكبر مكونات الإستقصاء الفني، الذي، كما يقترح العنوان، وَصَفَ وَقَيَّم التقنيات الموجودة لمعالجة التربة والمياه الجوفية التي تحتوي على منتجات بترولية أطلقها تسرب حوض تخزين جوفي.

يوفر تقرير معهد أبحاث القوة الكهربائية، ومعهد أديسون الكهربائي، ومجموعة أنشطة الفضلات الصلبة مقدمة عامة لأحدث تقنية تنظيف، ويستخدم مرجعاً في تحديد الطرق الممكنة، ويصف عناصرها الأساسية ويناقش العوامل التي تؤخذ في الإعتبار في إختيارها، وتنفيذها، في برنامج المعالجة. تقسم الأساليب المتوفرة لمعالجة التربة والمياه الجوفية التي تحتوي على منتجات البترول

والمدرجة في لائحة معهد أبحاث القوة الكهربائية، ومعهد أديسون الكهربائي، ومجموعة أنشطة الفضلات الصلبة إلى فئتين، المعالجة الموضعية والمعالجة الغير الموضعية، يقصد بالمعالجة الموضعية معالجة التربة في مكانها. تقسم تقنيات المعالجة أيضاً بصورة فرعية داخل هذه الفئات كما يلي:

- **تقنيات موضعية:**

التطيير (Volatilization)

التفكيك الحيوي (Biodegradation)

الترشيح والتفاعل الكيميائي (Leaching and Chemical Reaction)

المعالجة السلبية (Passive Remediation)

العزل / الإحتواء (Isolation/Containment)

- **تقنيات غير موضعية:**

المعالجة الأرضية (Land Treatment)

المعالجة الحرارية (Thermal Treatment)

المعالجة الأسفلت (Asphalt)

التصلب / التثبيت (Solidification/Stabilization)

الإستخلاص الكيميائي (Chemical Extraction)

الحفر (Excavation)

سنصف كل واحد من أساليب المعالجة هذه بإيجاز في الأقسام التالية، مستخدمين معلومات مأخوذة من دراسة معهد أبحاث القوة الكهربائية، ومعهد أديسون الكهربائي، ومجموعة أنشطة الفضلات الصلبة لعام 1988 (المرجع المعياري منذ العام 1988).

التقانات الموضعية

In situ Technologies

تتعامل تقانات المعالجة التي سوف تناقش في الأقسام الآتية مع التقانات التي يمكن أن تستخدم في الموقع فقط. ولأن الحفر غير مطلوب هنا، فإن مسارات التعرض تقتصر على تلك التي تنتج من التيارات الحقيقية التي تنتجها التقنيات الموضعية، وليست تلك المرتبطة بالمعالجة والنقل، والمتضمنة في الأساليب غير الموضعية التي سوف تناقش لاحقاً في هذا الفصل.

التطيير الموضعي:

In situ Volatilization (ISV)

التطوير الموضعي– أو تعرية الهواء الموضعية– تستخدم تيارات الهواء المسحوب أو المدفوع عبر تربة الموقع من أجل إزالة المركبات المتطايرة (انظر الشكل 21-3). للتطيير الموضعي سجل ناجح، سواءاً من حيث الفعالية وكفاءة التكلفة.

يتكـون نظـام التطييـر الموضـعي المـستخدم مـن أجـل تعزيـز تنفـيس الطبقـة التحـت سـطحية، وتطييـر المركبـات العـضوية المتطـاير من العمليات الآتية:

1. يـسخن مـسخن هـواء مـا قبـل الحقـن تيـار الهـواء الـداخل مـن أجـل رفـع درجـات حـرارة الطبقـة سـطحية وزيـادة معـدل التطيير.

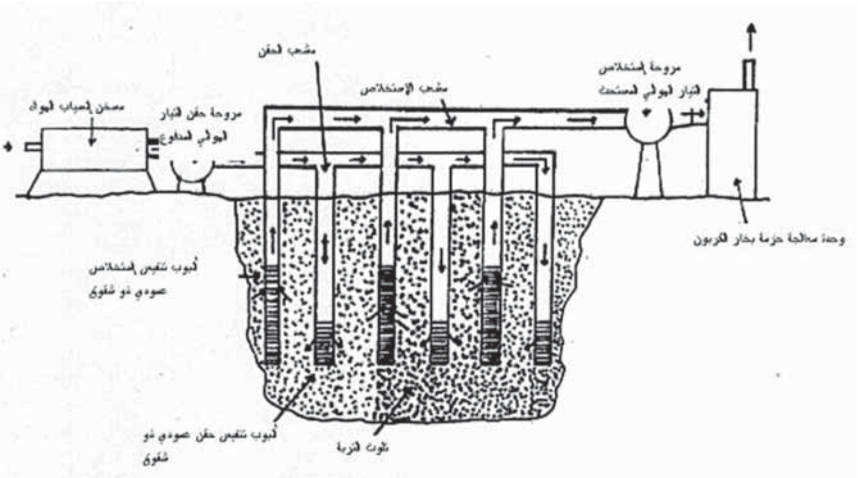
2. ينـشئ الحقـن أو تيـار الهـواء المـستحث إنـسياباً هوائيـاً عبـر المنطقة الغير مشبعة

3. يـسمح الأنبـوب ذو الفتحـات بمـرور إنـسياب الهـواء عبـر النظام، و يحد من جر جسيمات التربة.

4. تـستعيد وحـدة معالجـة (عـادة مـا تكـون الكربـون المنـشط) الهيدروكربون المطيَّر، مقللة بذلك من الإنبعاثات الهوائية.

5. تـسهل مقـاييس التيـار الهـوائي الإضـافية، وصـمامات الـتحكم فـي الإنـسياب و الـصمامات الجانبيـة، ومنافـذ أخـذ العينـات المدمجـة فـي التـصميم مـن إتـزان إنـسياب الهـواء وتقيـيم كفـاءة النظام.

تـؤثر عوامـل معينـة علـى تطييـر مركبـات الهيـدروكربونات مـن التربـات. تقـع هـذه العوامـل ضـمن أربـع فئـات: التربـة، والبيئـة، وعامل كيميائي، وعامل إدارة (جوري 1986).



الشكل 21-3 مخطط لنوع النظام المستخدم لتعزيز التنفيس التحت سطحي و تطيير المركبات العضوية.

مأخوذ من إي بي آر آي و إي إي آي. تقنيات جزرية لأحواض التخزين الجوفية، 1988، ص.19

عوامل التربة Soil Factors

تشمل عوامل التربة **(soil factors)** المحتوى المائي، والمسامية الإنفاذية، والمحتوى الطيني، وكثافة موقع الإمتصاص.

1. يؤثر المحتوى المائي **(water content)** على معدل التطيير عن طريق التأثير على المعدلات التي تنتشر بها المواد الكيميائية عبر منطقة فادوز. تنقص الزيادة في محتوى التربة من الماء المعدل الذي تنتقل به المركبات المتطايرة إلى السطح عبر الإنتشار.

2. ترتبط عوامل مسامية التربة وإنفاذيتها **(soil porosity and permiability)** بالمعدل الذي تتطاير عنده المركبات الهيدروكربونية وتنقل إلى السطح. مسافة الإنتشار والتي هي دالة في مسافة الإرتحال ومنطقة القطاع العرضي المتاحة للإنسياب، تزيد بزيادة المسامية المتناقصة، بينما تتناقص منطقة القطاع العرضي للإنسياب مع تناقص المسامية.

3. يؤثر المحتوى الطيني **(Clay Content)** على إنفاذية التربة وتطييرها. تزايد المحتوى الطيني يؤدي إلى تناقص إنفاذية التربة، الشيء الذي يثبط التطيير.

4. يقصد بكثافة موقع الإمتصاص **(adsorption site density)** تركيز السطح الممتز المتاح لمحتويات الترب المعدنية والعضوية. زيادة مواقع الإمتصاص هي مؤشر على زيادة قدرة التربة على تثبيت المركبات الهيدروكربونية في شبكة التربة.

العوامل البيئية Environmental Factors

تشمل العوامل البيئية **(environmental factors)** درجة الحرارة، والريح، والتبخر، وهطول الأمطار.

1. زيادة درجة الحرارة تزيد من تطيير المركبات الهيدروكربونية.

2. زيادة الريح تنقص من الطبقة الحدودية للهواء الراكد نسبياً عند السطح البيني للأرض والهواء، الشئ الذي يمكن أن يساعد على التطيير.

3. تبخر الماء عند سطح التربة هو عامل يتحكم بإنسياب الماء إلى أعلى عبر المنطقة الغير مشبعة، الشئ الذي يمكن أن يساعد على التطيير.

4. هطول الامطار يوفر الماء للترشيح عبر منطقة فادوز.

عوامل كيميائية Chemical Factors

كما هو متوقع، تلعب العوامل الكيميائية أدواراً حساسة في التأثير على الطريقة التي تتفاعل بها المركبات الهيدروكربونية المختلفة مع شبكة التربة. الذوبانية، والتركيز، ومعامل ترسيب أوكتانول – ماء، والضغط البخاري هي الخواص الكيميائية الأساسية التي تؤثر على قابلية المواد الكيميائية للتطيير الموضعي.

عوامل الإدارة Management Factors

عوامل الإدارة المرتبطة بأساليب إدارة التربة (التخصيب و الرى) تنقص من الترشيح، وتزيد من تراكيز ملوثات سطح التربة، وتساعد على التطيير، أو تزيد من تهوية التربة إلى الحد الأقصي.

الفعالية البيئية للتطيير الموضعي:

Environmental Effectiveness of ISV

تدفع الظروف الخاصة بالموقع (مسامية التربة، المحتوى الطيني، درجة الحرارة وما إلى ذلك) فعالية أساليب التطيير الموضعي. تؤكد الدراسات التجريبية والخبرة الواقعية:

- ظـل التطييـر الموضـعي ناجحـاً فــي المعالجــة فــي المنــاطق غيــر المــشبعة التــي تحتــوي علــى التــرب المحتويــة علــى رمــال عاليــة الإنفاذيــة، مــع محتــوى طينــي مــنخفض أو منعدم.
- تكون فترات الإستعادة في حدود 6 – 12 شهر.
- للجــازولين (والــذي هــو خفيــف ومتطــاير) أكبــر معــدل إستعادة.
- يمكــن أن يــستخدم التطييــر الموضــعي مقترنــاً مــع أنظمــة إستعادة المنتج.
- لأن مستويات التنظيف النهائية تعتمد على الموقع، ولا يمكن التنبؤ بها فإنها عادة ما توضع من قبل الوكالات المنظمة.

التفكيك الحيوي الموضعي

situ Biodegradation

يستخدم التفكيك الحيوي الموضعي **(in situ biodegradation)** الأحياء الدقيقة الموجودة بصورة طبيعية في التربة، من أجل تفكيك الملوثات إلى هيئات أخرى. يمكن أن تفكك الهيدروكربونات البترولية الي ثاني أوكسيد الكربون، وماء عن طريق عمليات الأحياء الدقيقة (جرادي 1985). يعزز تحفيز نمو وأنشطة الأحياء الدقيقة (بصورة أساسية عبر إضافة الأوكسجين والمغذيات) من عملية إزالة الهيدروكربونات. كما تؤثر عوامل مثل درجة الحرارة والأس الهيدروجيني على معدل نمو الأحياء الدقيقة.

أثبت التفكيك الحيوي، إعتماداً على التوثيق و معلومات الخلفية ذات الصلة بالمعالجة الأرضية الناجحة لفضلات المصفاة، قيمته كعملية وطريقة فعالة التكلفة لإنقاص الهيدروكربونات في التربة.

يصِف هيز، و جيمس، و وتزل(1986) عملية التفكيك الحيوي (الموضحة في الأشكال 21-4 و 21-5):

1. تنقل مضخة غاطسة المياه الجوفية من بئر الإستعادة إلى مضخة المزج.
2. تضاف المغذيات التي تشمل النتروجين والفسفور والمعادن ضئيلة التركيز إلى الماء في حوض المزج. تنتقل هذه المغذيات بعد ذلك عن طريق الماء إلى التربة، الشيء الذي يدعم نشاط الأحياء الدقيقة.
3. يضاف بيروكسيد الهيدروجين إلى المياه الجوفية من حوض المزج قبل إعادة إدخالها إلى التربة. يوفر تفكك بيروكسيد الهيدروجين الأوكسجين الذي يحتاجه نشاط الأحياء الدقيقة.
4. تعيد المياه الجوفية التي تم ضخها إلى معبر الترشيح و/ أو بئر الحقن إدخال الماء إلى مكمن المياه الجوفية أوالتربات.
5. تسري المياه الجوفية من معابر الترشيح أو آبار الحقن عبر المنطقة المتأثرة، ثم تعود بعد ذلك إلى آبار الإستعادة. يجب أن يتماس إنسياب الماء مع كل التربات التي تحتوي على الهيدروكربونات البترولية القابلة للتفكك.

6. يسحب الماء إلى بئر الإستعادة ويضخ إلى حوض المزج من أجل إكمال دورة المعالجة.

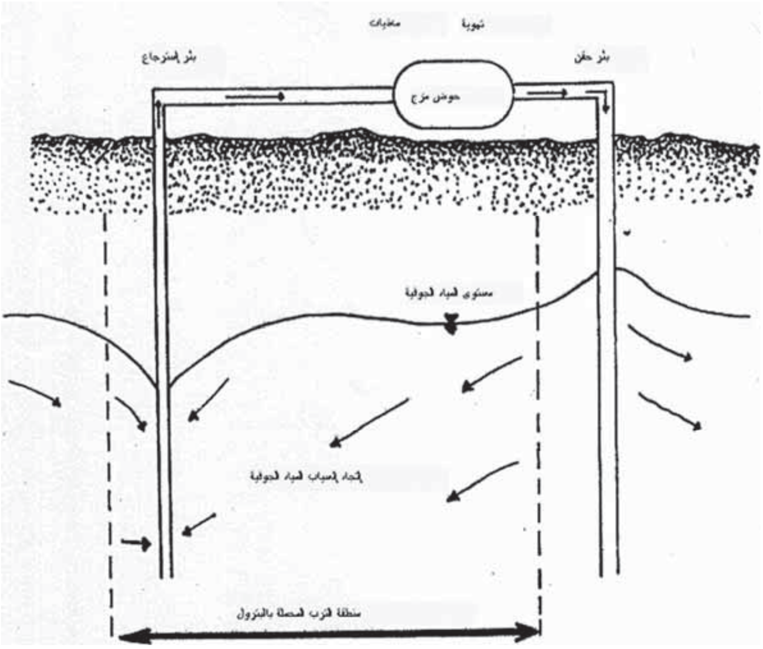
7. ترسل المياه الجوفية التي تم إنقاص تركيز هيدوكربوناتها إلى مستويات منخفضة جداً،عادة، عبر عملية إدمصاص للكربون من أجل إزالة الهيدروكربونات المتبقية.

العوامل البيئية: Environmental factors

العوامل البيئية التي تؤثر على التفكيك الحيوي في التربات هي درجة الحرارة ومجتمع الأحياء الدقيقة.

1. درجة الحرارة مهمة للتفكيك الحيوي للملوثات في التربات. بصورة عامة، يزيد التفكيك الحيوي لكسر البترول بزيادة درجات الحرارة (إلى 104 درجة فهرنهايت) من زيادة النشاط الحيوي (بوسرت و بارثا 1984).

2. مجتمع الاحياء الدقيقة **(microbial community)** القادر على تفكيك المركب المستهدف مهم في عملية التفكيك الحيوي. تستفيد معظم مخططات التفكيك الحيوي من مجموعات الأحياء الدقيقة الموجودة، إلا أنه قد أجريت محاولات من أجل تعزيز هذه المجموعات بكائنات حية إضافية، أو كائنات حية مهندسة.



الشكل 21-4 مخطط التفكيك الحيوي الموضعي– بئر الحقن.

مـــأخوذ مـــن ر. ف. ويـــستون."الوقايـــة مـــن تـــسرب الأحـــواض الجوفيـــة و الكـــشف عنـــه و تـــصحيحه". 1986، فـــي إي بـــي آر آي و إي إي آي. تقنيـــــات المعالجـــــة لأحـــــواض التخـــــزين الجوفية المسربة، 1988، ص 39.

العوامل الكيميائية Chemical Factors

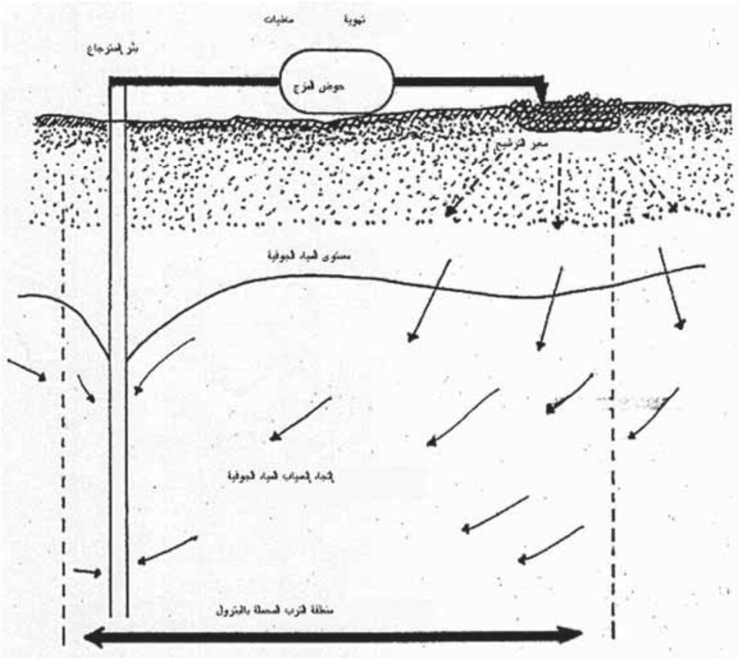
فـــي مـــا يكـــون التفكيـــك الحيـــوي غيـــر ممكـــن فـــى حـــال كـــون تراكيـــز الركيـــزة مرتفعـــة جـــداً، يعتمـــد التفكيـــك الحيـــوي علـــى وجـــود أساســـي للركيـــزة (المركـــب المـــستهدف) مـــن أجـــل ضـــمان أيـــض الكائنـــات الحيـــة الدقيقـــة للمركـــب المـــستهدف. يحـــد التفكيـــك الحيـــوي بذوبانيـــة

المركـــب فـــى المـــاء، لأن معظـــم الأحيـــاء الدقيقـــة تحتـــاج الرطوبـــة من أجل الحصول على المغذيات و تفادي التجفيف.

عوامل التربة Soil Factors

يتطلـــب تفكيـــك الهيـــدروكربونات فـــى التربـــة ظروفـــاً هوائيـــة مناســـبة. كمـــا أن الرطوبـــة أساســـية أيـــضاً لحيـــاة الأحيـــاء الدقيقـــة غيـــر أن الرطوبـــة الفائـــضة (التـــشبع) تحـــد مـــن نـــشاط الأوكـــسجين، و يمكـــن أن تعـــوق النـــشاط الحيـــوي. ســـجل بوســـرت و برثـــا (1984) أن محتـــوى الرطوبـــة الـــذى يتـــراوح بـــين 50–80 % مـــن ســـعة حمـــل المـــاء، يعتبـــر المحتـــوى الأفـــضل للأنـــشطة الهوائيـــة. إنتقـــال الأوكـــسجين عـــاملاً رئيـــسياً فـــى عمليـــات التفكيـــك الحيـــوي الموضـــعية كمـــا يجـــب أن تكـــون التربـــات منفـــذة بـــصورة لا بـــأس بهـــا من أجل السماح للإنتقال بأن يحدث.

عامـــل مهـــم آخـــر مـــن عوامـــل التربـــة هـــو الأس الهيـــدروجينى، و الـــذى يـــؤثر بـــصورة مباشـــرة علـــى مجموعـــات الأحيـــاء الدقيقـــة التـــى تـــدعمها التربـــة. التفكيـــك الحيـــوي يكـــون عـــادة أكبـــر فـــى بيئـــة التربـــة ذات قيمـــة الأس الهيـــدروجينى 7.8. التفكيـــك الحيـــوي الأفـــضل للهيـــدروكربونات البتروليـــة يحتـــاج المغـــذيات (نتـــروجين وفـــسفور) بمقادير مناسبة.



الشكل 21-5 مخطط التفكيك الحيوي الموضعي– معبر الترشيح.

مأخوذ من ر. ف. ويستون."الوقاية من تسرب الأحواض الجوفية و الكشف عنه و تصحيحه". 1986، في إي بي آر آي و إي إي آي. تقنيات المعالجة لأحواض التخزين الجوفية المسربة، 1988، ص 39.

الفعالية البيئية Environmental Effectiveness

فعالية التفكيك الحيوي الموضعية تعتمد على العوامل الخاصة بالموقع، أو على تقنيات الموقع الأخرى، إلا أن السجل التاريخى لهذه التقنية محدود. غير أن بعض دراسات الحالة تقترح :

- أن التفكيك الحيوي الموضعي يكون أكثر فعالية فى الأوضاع التى تشمل أحجاماً كبيرة من التربات التحت سطحية.

- يحدث التفكيك الأكبر للهيدروكربونات البترولية،عادة، فى المدى بين 6–18 شهر (براون، و نوريس، و إسترى 1986).

- أستخدم التفكيك الحيوي،عادة، فى معالجة المياه الجوفية المتاثرة بالجازولين.

- يقترح البحث حدوث تفكيك حيوي محدود للبنزين أو التولوين تحت الظروف الغير هوائية (ولسون و آخرين 1986).

- فى التربات، يمكن أن يكون مستوى المعالجة المستهدف للتفكيك الحيوي الموضعي فى مستوى مج/ل (جزء من المليون) منخفضاً بالنسبة للهيدروكربونات الكلية (براون، و نوريس، و إسترى).

الترشيح الموضعي و التفاعل الكيميائى:

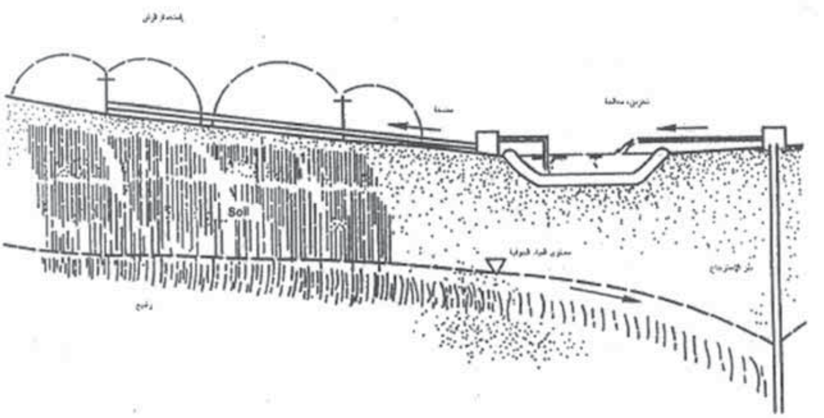
تستخدم عملية الترشيح الموضعي و التفاعل الكيميائى **(In Situ Leaching and Chemical Reaction)** ماء ممزوجاً مع مادة نشطة سطحيا (صابون) من أجل زيادة كفاءة غسل التربات الملوثة من أجل ترشيح الملوثات إلى المياه الجوفية. تجمع المياه الجوفية بعد ذلك فى مصب موقع الترشيح عبر نظام تجميع بغرض المعالجة و/أو التخلص (إنظر الشكل21-6).

الفعالية البيئية Environmental Effectiveness

عمليـــة الترشـــيح الموضـــعى و التفاعـــل الكيميـــائى لا تمـــارس عـــادة. و تتوفر قلة من بيانات الأداء عن فعاليتها البيئية.

التزجيج الموضعى In sita Vitrification

توظـــف عمليـــة التـــزجيج الموضـــعى التيـــار الكهربـــى المـــار عبـــر الأقطـــاب (والمـــدفوع عبـــر التربـــة فـــى شـــكل مربـــع)، و التـــى تنـــتج حـــرارة متطرفـــة و تحـــول التربـــة الـــى مـــادة زجاجيـــة متينـــة. (إنظـــر الشكل 21-7).



ا

لشكل 21-6 مخطط لإعادة تدوير الرشيح

وكالـــة حمايـــة البيئـــة، مراجعـــة تقنيـــات العالجـــة فـــي الموقـــع لتربـــات الـــــسطح الملوثـــــة. المجلـــــد 1: تقيـــــيم فنـــــي، 540/2-84-003، 1984.

تفحم المكونات العضوية فى الصهير، و تهاجر الى السطح حيث تحترق فى وجود الأوكسجين. ترتبط المواد غير العضوية بفعالية مع الزجاج المدمج (جونسون و كوسموس1989).

الفعالية البيئية Environmental Effectiveness

تحـــرق المـــواد العـــضوية و/أو تحطـــم بفعـــل درجـــات الحـــرارة العاليـــة التـــى تمـــر بهـــا أثنـــاء عمليـــة التـــزجيج. و لـــم يـــصدر الحكـــم بعـــد عـــن فعاليتها البيئية.

المعالجة السلبية الموضعية In situ Passive Remediation

عملية العالجة السلبية الموضعية (**in situ passive remediation**) هى الأسهل فى التطبيق، والأقل تكلفة، و ما ذلك،بصورة أساسية، إلا لأنها لا تتضمن فعلاً عند الموضع، غير أنها – بصورة عامة– غير مقبولة عند الوكالات المنظمة. تعتمد هذه الطريقة على عدة عمليات طبيعية من أجل تدمير الملوث. تشمل هذه العمليات الطبيعية التفكيك الحيوي، والتطيير، والتحليل الضوئى، والترشيح، والإمتصاص.

الفعالية البيئية Environmental Effectiveness

لأن المعالجـــة الـــسلبية تعتمـــد علـــى مجموعـــة متنوعـــة مـــن العوامـــل الخاصـــة بكـــل موقـــع، والخاصـــة بكـــل مكـــون، فـــإن الفعاليـــة البيئيـــة للمعالجة السلبية يجب أن تتحدد لكل حالة على إنفراد.

العزل /الإحتواء الموضعى: In sita Isalation/ containment

كمــا يــشير الإســم بــصورة ضــمنية، توجــه طــرق العــزل/ الإحتــواء **(isolation/containment)** لمنـــــع هجـــرة الملـــوث الـــسائل، أو الملوثــات المحتويــة علــى مــواد متــسربة. وينجــز عــن طريــق فــصل منطقــة التلــوث مــن البيئــة، وعــن طريــق تنــصيب حــواجز غيــر منفــذة لإســتبقاء الملوثــات الــسائلة داخــل الموقــع، يعتمــد الإســتخدام النــاجح لهــذه الطــرق علــى وجــود طبقــة لا يمكــن إختراقهــا أســفل الملــوث المــراد إحتــواؤه، وإنجــاز غلــق جيــد للأســطح العموديــة والأفقية.

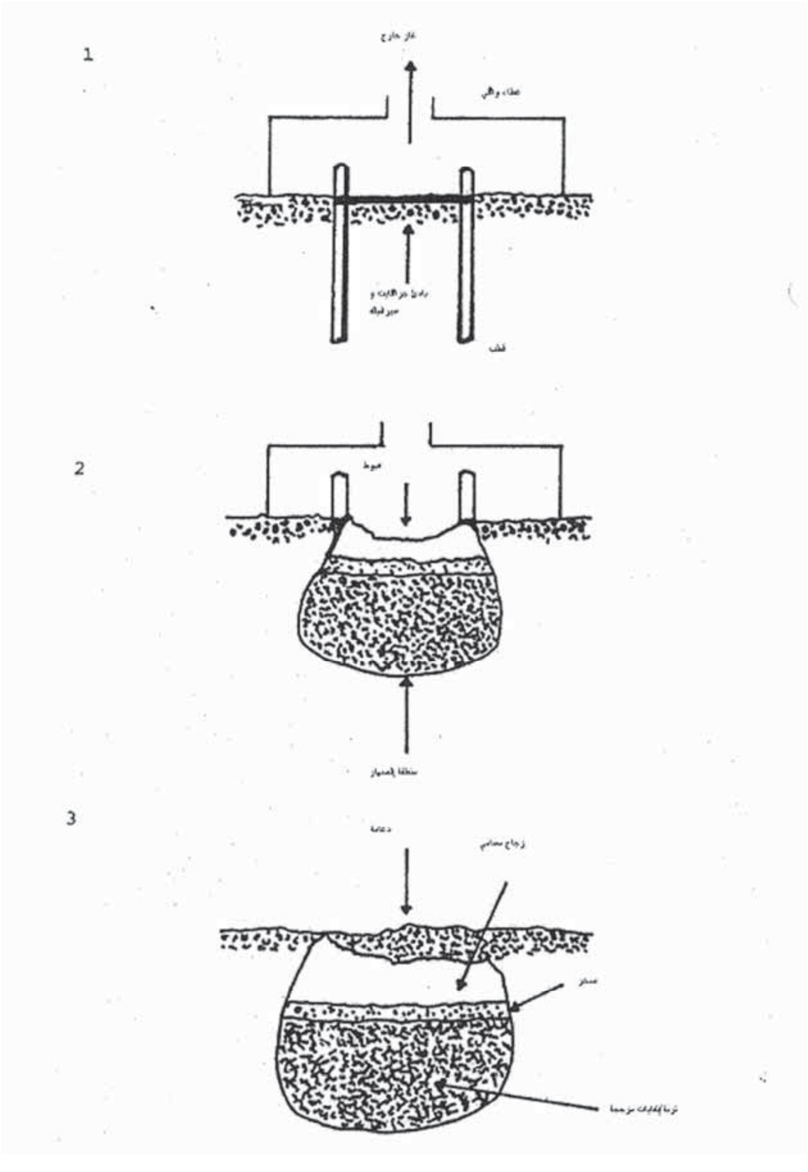
مــن خبرتنــا، نعلــم أن أدوات الإحتــواء المُناقــشة فــى هــذا القــسم تعزل التلوث بصورة كافية. إلا أن تحطيم الملوث لا يتم إنجازه.

طرق الإحتواء Containment Methods

جدران الملاط (**Slurry Walls**): حواجز فيزيائية مثبتة تكونت فى خندق محفور عن طريق ضخ الملاط، الذى عادة مايكون بنتونايت[7] أو خليط أسمنت و ماء (إنظر الشكل 21-8).

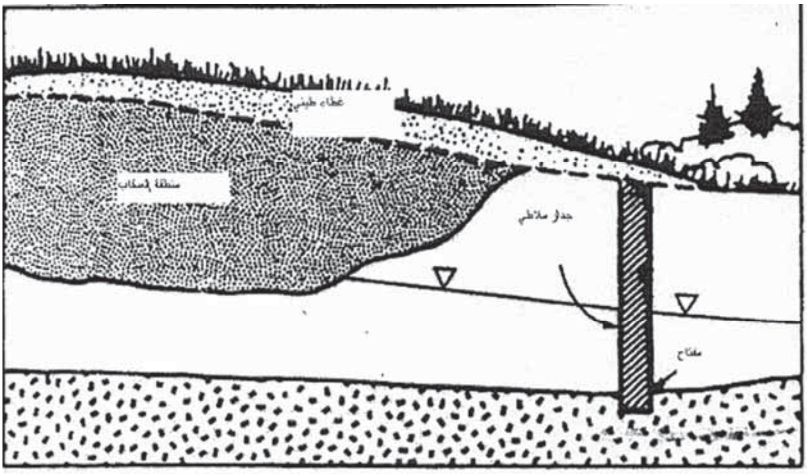
---

[7]طين به شوائب له مقدرة إمتصاص



الشكل 21-7 تتابع عملية التزجيج الموضعية.

مـــأخوذة مـــن مختبـــرات باســـفك نورثويـــست. تطبيـــق التـــزجيج الموضـــعي علـــى التربـــات الملوثـــة بثنـــائي الفينيـــل متعـــدد الكلوريـــد، 1986.



الشكل 21-8 جدار ملاطي معدل.

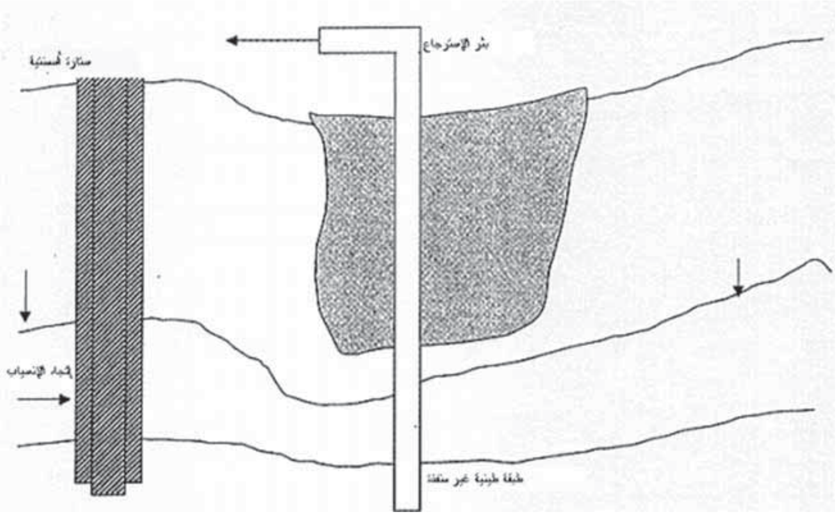
وكالـــة حمايـــة البيئـــة، تـــشييد خنـــدق ملاطـــي للـــتحكم فـــي هجـــرة التلوث. وكالة حماية البيئة–540/2-84-001, 1984.

الستائر الأسمنتية (**Grout Curtains**) (شبيهة بجدران الملاط): ستائر تعليق مكونة من أسمنت بورتلاند أو أسمنت يحقن تحت الضغط لكى يكون حاجزاً (إنظر الشكل 21-9).

تكويم الصفائح (**Sheet Piling**): يشمل الدفع الفيزيائى للصفائح الصلبة، أو أكوام الخشب، أوالفولاذ، أو الأسمنت.

Environmental Effectivness الفعالية البيئية

أنظمة العزل/الاحتواء فعالة فى منع، أو إعاقة الهجرة بصورة فيزيائية، إلا أن الملوث لا يزال، أو يحطم.



الشكل 21-9 ستارة أسمنتية.

مأخوذ من س. سوميرر، و جي. ف. كتشنز،"الهندسة و دعم التطوير لجنرال ديكون تكنولوجي،" 1980.

دراسة الحالة 21-3
Case Study
أساليب المعالجة المبتكرة
Innovative Treatment Technologies

تستخدم المعالجة النباتية **(Phytoremediation)** نباتات، وشجيرات، وأشجار معينة قادرة على نقل الملوثات البيئية من أجل تنظيف تلوث التربة،

والماء، وإزالة الملوثات التى تشمل المعادن، والنويات المشعة، والمذيبات المكلورة و الهيدروكربونات البترولية، ونفايات الذخائر. قد تحول هذه العملية الطرق التى تعالج بها الصناعة والحكومة مشاكل التلوث طويلة الأمد.

تسر عمليات المعالجة النباتية الناظرين، وهى عمليات معالجة سلبية مدفوعة بالطاقة الشمسية وذات تكلفة فعالة. تخزن أشجار الحور المهجنة والمصممة فى المختبر،على سبيل المثال، التى تغرس فى المواقع الملوثة، الملوثات الكيميائية بصورة آمنة فى أنسجة النبات، أو تقوم بأيضها الى مركبات أقل تطايراً. يمكن للأشجار بعد ذلك أن تطلق هذه المنتجات العرضية عبر عملية التعرق التبخري. بينما يجب أن تحدث أساليب المعالجة النباتية على مستوى و إطار زمنى ملائم للنبات، الشئ الذي يكتمل،عادة، في عدة سنين، أوضحت الإختبارات أنها طريقة ذات فعالية تكلفة بالغة، قد تعمل بنفس مستوى عملية تزجيج التربة و ترشيح المياه الجوفية المكلفتين – فى بعض الحالات.يمكن أن تستخدم المعالجة النباتية جنباً لجنب مع طرق التنظيف الميكانيكية.

عرف المختصون الزراعيون منذ سنين أن عدة نباتات تزيل مركبات بعينها من التربة. مفهوم دورة المحاصيل مبني على أساس هذه المعرفة. تستخدم المعالجة النباتية هذه المعلومة، لكن تستهدف بصورة خاصة مركبات و ملوثات بعينها فى التربة. تغرس الأنواع المنفردة (والتى تكون معدلة وراثيا أحيانا من أجل تعزيز قدرتها الإمتصاصية)، أو خليط من الأنواع فى الموقع و تترك لتنمو، ثم تحصد بعد ذلك، وترمد أو تحول الى سماد. يمكن إعادة هذه العملية بقدر الحاجة من أجل خفض مستويات الملوث إلى المستويات المقبولة.

تشمل الإعتبارات عمق أنظمة الجذور (تضرب الأشجار بجذورها الى اعماق أبعاد من تلك التي تصلها النباتات الأصغر، كما هو واضح)، وعمق التلوث. على سبيل المثال، جذور الاشجار التى تتدلى إلى أن تصل إلى مستوى المياه

الجوفية (عادة في مستوى مفيد يبلغ 10 أقدام) يمكنها أن تأخذ كميات كبيرة من الماء. تقلل أشجار الحور المغروسة على إمتداد قاع الجدول فى المناطق الزراعية من كميات المخصب و مبيدات الأعشاب الضارة التى تدخل الى الجداول والمياه الجوفية. تمتص الأشجار المغروسة على مكبات القمامة مياه الأمطار التى كانت لتتسرب عبر مكبات القمامة، ملتقطة الملوثات ومتسربة إلى إمدادات المياه الجوفية. يمكن أن تستخدم النباتات والشجيرات ذات أنظمة الجذور الصغيرة (حد مفيد ذو ثلاثة أقدام) فى التطبيقات السطحية من أجل معالجة مركبات الملوثات فى التربة.

تشمل الآليات الحيوية التى تعمل فى المعالجة النباتية:

- التحكم الهيدروليكى أو هيدروليكيات التحكم النباتية: بإستخدام جذور النبات من أجل صنع حاجز هيدروليكى يحتوى كلاً من هجرة و ترشيح الملوث. يوفر النبات المستخدم، أيضاً، غطاء خضرياً يخفف من تعرض التربة للتلوث.

- الإستخلاص النباتى أو المراكمة النباتية: بإستخدام نظام جذور النبات من أجل إستخلاص و نقل الملوثات الغير العضوية (المعادن أو النويات المشعة) من الترابات. تتراكم الملوثات فى أنسجة الورق و الفروع.

- ترشيح الجذور: بإستخدام جذور النبات من أجل إمتصاص الملوثات الغير عضوية من المياه الجوفية، تتراكم هذه الملوثات فى الجذور.

- التثبيت النباتى: بإستخدام نظام جذور النبات من أجل ترسيب وإمتصاص الملوثات غير العضوية من التربة و المياه الجوفية. تتراكم هذه الملوثات فى الجذور.

- التفكيك النباتى أو التحويل النباتى: بإستخدام جذور النبات من أجل إستخلاص الملوثات العضوية (بقايا المذيبات، ومبيدات الآفات، ومبيدات الأعشاب الضارة، والهيدروكربونات) من الترابات والمياه الجوفية. تتفكك هذه الملوثات داخل النبات.

- التفكيـك عـن طريـق الجـذور (التفكيـك الحيـوي للتربـة، التحفيـز النبـاتي، أو المعالجـة الحيويـة المعانـة مـن قبـل النباتـات): بإسـتخدام جـذور النبـات لإطـلاق المـواد الكيميائيـة التـى تعـزز التفكيـك الحيـوي للملـوث العـضوي عن طريق الأحياء الدقيقة فى التربة).

- التطييـر النبـاتى: إسـتخدام نظـام جـذور النبـات مـن أجـل إسـتخلاص ونقـل الملوثـات العـضوية مـن الميـاه الجوفيـة الـى الأوراق. تَتَعـرف الأوراق، وتبخـر وتطيـر الملوثـات الى الجو.

تستخدم المعالجة الحيوية، كخطوة أخيرة، سويةً مع عمليات أخرى، حيث يمكن فى بعض الاحيان أن تنظف البقايا الأخيرة للملوث. وهى أكثر فائدة في الترابات الضحلة وفى المناطق التى توجد بها مستويات أقل من التلوث، كما يستقصى الباحثون، أيضاً، طرقاً أخرى من أجل إستخدام أساليبها.

موضع السؤال الدائم عن أي مشروع معالجة حيوية هو أثره على السلسة الغذائية، ومستويات المواد الملوثة المتجمعة على مواد النباتات. يجب أن يستكشف ويخطط لمستويات السموم المطلقة في البيئة من سقوط الأوراق فى الخريف، و من نشارة الأشجار، أو كنتيجة لترميد حرائق حطب الوقود، كما يجب فعل ذلك أيضاً لمستويات الملوثات فى آكلات الأعشاب. وبإختصار،

النباتات المستخدمة فى مشاريع المعالجة الحيوية يجب أن تعتبر هى ذاتها مواد خطيرة، و تعامل على هذا الأساس، إذا كانت مستويات الملوثات الموجودة فيها كبيرة.

مرجع

Proact Fact Sheet: Phytoremediation. www.afcee.brooks.af.mil/pro-act/fact/may02c.asp
www.afcee.brooks.af.mil/pro-act/fact/may02c.asp

الأساليب غير الموضعية Non In situ Technologies

على العكس من الأساليب الموضعية، تتطلب الأساليب غير الموضعية إزالة للتربات الملوثة (عن طريق الحفر عادة). يمكن لهذه التربات أن تعالج فى موقعها، أو أن تنقل إلى موقع آخر وتعالج هناك. فرق آخر يجب أن يوضع فى الإعتبار عند إستخدام الأساليب الغير الموضعية، هو مسارات التعرض المرتبطة مع أو نقل التربة الملوثة. تشمل الطرق الغير موضعية للتربة، المُناقشة فى هذا القسم المعالجة الأرضية، والمعالجة الحرارية، وإدماج الأسمنت، والتصلب/ التثبيت، والإستخلاص الكيميائى، والحفر.

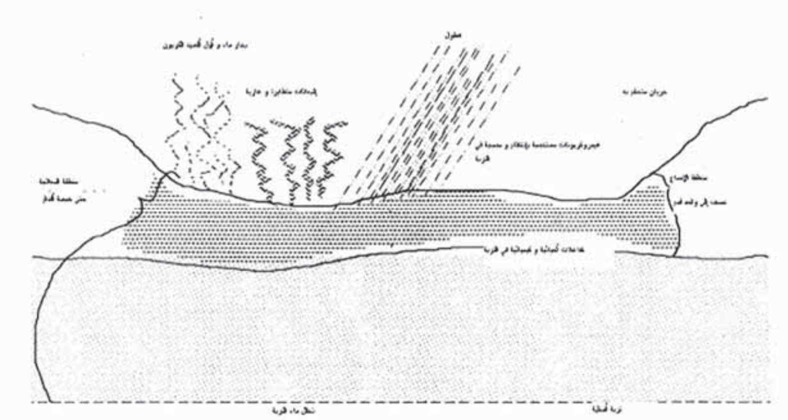
المعالجة الأرضية Land Treatment

في المعالجة الأرضية **(land treatment)** أو زراعة الأرض **(land farming)** تزال التربة المتأثرة، وتنتشر على منطقة ما، من أجل تعزيز العمليات التى تحدث بصورة طبيعية، وتشمل التطيير، والتهوية، والتفكيك الحيوي، والتحيل الضوئى. تشمل عملية المعالجة الأرضية حرث وإستزراع

الترباات من أجل تعزيز التفكيك الحيوي للمركبات الهيدروكربونية. عملية المعالجة الارضية الأساسية موضحة فى الشكل 21-10، وتشمل الآتى:

- تهيئة المنطقة المستخدمة للمعالجة الأرضية عن طريق إزالة حطام السطح، والصخور الضخمة، والأغصان.
- تدرج المنطقة لكي توفر تجفيفاً إيجابياً، وتحاط بساتر ترابى لكى يحتوي الجريان داخل منطقة المعالجة الأرضية.
- يعدل الأس الهيدروجينى بإستخدام الكلس (إذا كان ذلك ضروريا) لكي يوفر أساً هيدروجينيا متعادلا.
- إذا كان الموقع يعاني من شح المغذيات، فإن المخصب يضاف.
- تنشر التربة الملوثة بالبترول بإنتظام على سطح المنطقة المهيأة.
- تدمج المادة الملوثة فى البوصات الست إلى الثماني العلوية من التربة (كى تزيد من التماس مع الأحياء الدقيقة) عن طريق إستخدام محراث، أو أى أداة حرث.
- يستخدم المزيد من الترباات التى تحتوي على منتجات البترول على فترة مناسبة، من أجل إعادة التزويد بالأمداد الهيدروكربونى.

- تراقب مستويات الهيدروكربونات، والمغذيات، والأس الهيدروجينى للتربة لضمان أن الهيدروكربونات محتواة بصورة مناسبة، وأنها معالجة فى منطقة المعالجة الأرضية.



الشكل 21-10 الآليات التي تحدث أثناء المعالجة الأرضية

مأخوذة من المعهد الأمريكي للنفط. قابلية الأرض للمعالجة لمكونات الملحق السابع الموجودة في نفايات الصناعة البترولية.

الفعالية البيئية Environmental Effectivness

تعتمد فعالية معالجة الارض أو زراعة الأرض بشدة على ظروف خاصة بالموقع. أكدت عدة سنين من الخبرة فى معالجة مركبات البترول، بإستخدام هذه التقنية، أن:

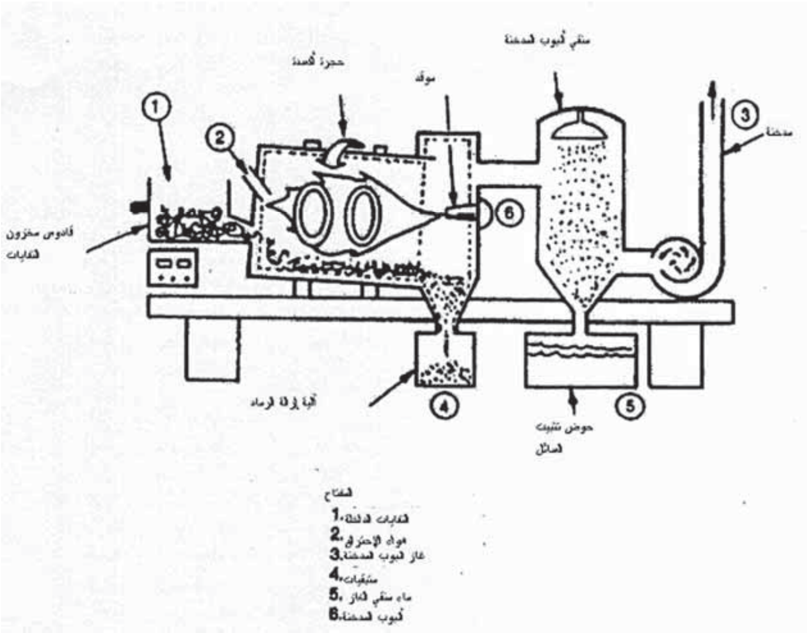
- المعالجة الأرضية وسيلة فعالة لتفكيك المركبات الهيدروكربونية.

- المعالجـــة المـــستمرة للتربـــات المحملـــة بـــالبترول يمكـــن أن ينتج عنها تراكم المعادن فى شبكة التربة.

- معـــدلات التفكيـــك النهائيـــة تعتمـــد علـــى الموقـــع ولا يمكـــن التنبؤ بها.

المعالجة الحرارية Thermal Treatment

تتطلـــب المعالجـــة الحراريـــة للتربـــات معـــدات خاصـــة، لكنهـــا قـــادرة علـــى تـــوفير تـــدمير كامـــل للملـــوث المحمـــل بـــالبترول. تـــزال التربـــات المتـــأثرة بـــالبترول مـــن الأرض، وتعـــرض لحـــرارة فائـــضة فـــى واحـــد مـــن عـــدة أنـــواع مـــن المرمـــدات المتـــوفرة حاليـــا. تـــشمل هـــذه الافـــران الـــدوارة (إنظـــر الـــشكل 21-11)، مرمـــدات القـــاع المميـــع، والأفـــران المثبتـــة، أو المواقـــد، وأفـــران الكلـــس والأســـمنت الـــدوارة، ومنـــشآت الأسفلت.



الشكل 21-11 مخطط موقد ترميد دوار

من وكالة حماية البيئة. الفعل العلاجي عند مواقع التخلص من النفايات (مراجع). واشنطن، دي. سي.: وكالة حماية البيئة 625/6-85-006،1985.

الفعالية البيئية Environmental Effectiveness

تـم توثيـق الترميـد عنـد درجـة الحـرارة العاليـة مـن أجـل تحطـيم التربـة المحملـة بـالبترول بـصورة جيـدة. و يمكـن توقـع كفـاءة إزالـة و تحطـيم تساوي 99 %..

دمج الأسفلت و الطرق الأخرى

Asphalt Incorporation and other Methods

إدماج الأسفلت (**asphalt incorporation**) هي طريقة معالجة طورت حديثاً تقوم بأكثر بما تقوم به عملية المعالجة، بمعنى أن تقنية إدماج الأسمنت

هى فى الواقع تقنية إعادة استخدام **(reuse)** و/أو إعادة تدوير **(recycling)**، حيث يعاد إستخدام الملوث المحمول فى التربة بصورة مفيدة (لصنع الأسفلت ومنتجات الأسفلت والطوب) بدلاً عن تدميره أو التخلص منه فقط.

تـــشمل تقنيـــات إدمـــاج الأســـفلت أو إعـــادة الإســـتخدام / إعـــادة التـــدوير الأخـــرى إســـتيعاب الاتربـــات المحملـــة بـــالبترول فـــى عمليـــة الأســـفلت الـــساخنة أو البـــاردة، وعمليـــات إنتـــاج الأســـمنت الرطبـــة أو الجافـــة، أو عمليـــة تـــصنيع الطـــوب. أثنـــاء هـــذه العمليـــات، تمـــزج الاتربـــات المحملـــة بـــالبترول مـــع المكونـــات الأخـــرى لـــصنع المنـــتج النهـــائى. بـــدورها، تطيـــر ملوثـــات البتـــرول أثنـــاء المعالجـــات أو تحبس داخل المادة، و بذلك يحد من هجرة الملوث.

دمج الأسفلت Asphalt Incorporation

تحويـــل الاســـمنت الـــى أســـفلت أو بيتمونايـــت أســـمنت يـــشمل إنتـــاج مـــادة تكـــون بلاســـتيكية حينمـــا يـــشتغل عليهـــا، وتتكـــون لتعطـــى صـــلادة معينـــة كافيـــة لإســـتخدامها النهـــائى. يـــتم إنجـــاز إدمـــاج التربـــة الملوثـــة فـــى المنتجـــات النهائيـــة للبيتمونايـــت بطـــريقتين تقليـــدتين. عمليـــات أســـفلت المـــزج البـــارد (CMA) و عمليـــات أسفلت المزج الساخن (HMA) (تستا 1997).

عمليات أسفلت المزج البارد Cold-Mix Asphalt Processes

عمليـــات أســـفلت المـــزج البـــارد **Cold-Mix Asphalt Process** (التـــى يـــشار اليهـــا بالأســـفلت المعـــالج بيئيـــا) هـــى عمليـــات متحركـــة، أو عمليـــات تقـــام فـــى الموقـــع. تـــستخدم الاتربـــات

الملوثـــة بمجموعـــة متنوعـــة مـــن الملوثـــات (التـــى تـــشمل الهيـــدروكربونات البتروليـــة) لكـــى تعمـــل كـــالمكون ذي الحبيبـــات الناعمـــة فـــى المـــزيج ســـوية مـــع مـــستحلبات الأســـفلت، و المتجمعـــات المعينـــة لكـــى تنـــتج مـــدى واســـعاً مـــن منتجـــات أســـفلت المـــزج البـــارد. يـــدعم المـــزيج عـــادة بـــالكلس، و الأســـمنت البورتلانـــدى، و الرمـــاد المتطـــاير مـــن أجـــل تعزيـــز ثبـــات المنـــتج النهائى.

يـــتم إنجـــاز طريقـــة المـــزج أو الإدمـــاج فيزيائيـــاً أو عـــن طريـــق طرائـــق المـــزج فـــى الموقـــع للكميـــات الكبيـــرة، أو عـــن طريـــق التكـــويم للكميات الأصغر.

لعمليـــة أســـفلت المـــزج البـــارد عـــدة مزايـــا: تنـــوع الملوثـــات التـــى يمكـــن معالجتهـــا; الأحجـــام الـــضخمة مـــن التربـــة الملوثـــة التـــى يمكـــن إدماجهـــا، كونهـــا تمتلـــك تـــصميم مـــزج و تخصيـــصات مرنـــة كونهـــا عمليـــة متنقلـــة و لهـــا محـــددات طقـــسية دنيـــا، وذات كفـــاءة تكلفـــة، و يمكـــن أن تخـــزن فـــى شـــكل أكـــوام حينمـــا يحتـــاج الـــى ذلـــك وإمكانيـــة حـــدوث المعالجـــة فـــي الموقـــع. غيـــر أن أى مـــواد متطـــايرة يجـــب أن يـــتحكم بهـــا، كـــذلك قـــد لا تكـــون الأحجـــام الـــصغيرة للتربـــة الملوثـــة مستدامة من ناحية إقتصادية بالنسبة للمنشأة المتنقلة.

عمليات أسفلت المزج الساخن Hot- Mix Asphalt process

تشمل عملية أسفلت المزج الساخن (**hot-mix asphalt process**) إدماج التربة المحملة بالبترول فى مزيج أسفلت ساخن كبديل جزئى للمجمع. يستخدم هذا المزيج عادة على الرصيف. ينتج أسفلت المزج الساخن عادة إما بإستخدام

طريقة مزج العجنة أو بعملية مزج البرميل. فى كلتي الحالتين، يستخدم كل من المزج والتسخين لإنتاج المادة التي تستخدم على الرصيف.

خلال عملية الإدماج، يسخن الخليط الذى يشمل الترابات الملوثة (التى لا تتجاوز خمسة في المائة من محتوى المجمع الكلى فى أى مرة). يسبب هذا تطيير المركبات الهيدروكربونية الأكثر تطايراً عند درجات حرارة مختلفة. تحد هجرة المركب بإدماج متبقي المركبات فى شبكة الأسفلت أثناء التبريد.

مزايا أسمنت المزج الساخن هى أن الزمن الذى يتطلبه التخلص من المادة المحملة بالبترول يكون محدوداً فقط بحجم منشأة العجن (يمكن أن تحفر المواد و تخزن الى حين إستخدامها)، كما أن الأحجام الصغيرة من التربة المتأثرة يمكن أن تعالج بسهولة. غير أن المركب يجب أن يستخدم مباشرة بعد معالجته، كما أن له إمكانية إطلاق إنبعاثات عالية، كما توجد قيود على الإنبعاثات. أيضاً، قد يؤثر الإحتراق غير المكتمل للطرف الخفيف من الهيدروكربونات على جودة المنتج النهائى.

عملية إنتاج الاسمنت Cement Production process

تدمج المواد الخام مثل الكلس، و الطين، و الرمل فى عملية إنتاج الأسمنت (**cement production process**). و ما أن تدمج هذه المواد حتى تلقم الى موقد دوار. يمكن للتربة أن تضاف جنباً الى جنب مع المواد الخام، أو تسقط مباشرة الى الجزء الساخن من الموقد. يسخن المزيج بعد ذلك الى ما يصل الى 2700 درجة فهرنهايت. تتفكك التربة المحملة بالبترول كيميائياً أثناء هذه العملية. بينما تتحد المواد العضوية من جديد مع المواد الخام وتدمج فى

آجر قاس. ينتج الآجر عُقداً داكنة صلبة بحجم كرة الجولف من الأسمنت البورتلاندى المتكون بسرعة، والذى يمزج مع الجبس ويسحق لكى يعطي مسحوقاً ناعماً.

تـــشمل ميـــزات صـــنع الأســـمنت أن التقنيـــة المـــستخدمة قـــد تـــم إختبارهـــا، وأن المـــواد الخـــام متـــوفرة بـــسهولة، وأن العمليـــة تحتـــاج ذوبانيـــة منخفـــضة فـــى المـــاء، أو إنفاذيـــة منخفـــضة أيـــضا للمـــاء، كمـــا يمكنهـــا أن تتقبـــل أنواعـــاً مختلفـــة مـــن الملوثـــات والمـــواد. تـــشمل عيـــوب هـــذه الطريقـــة قيـــوداً علـــى المـــواد ذات الرائحـــة، ومـــدى واســـعاً من زيادة الحجم، وقيوداً فنية وجمالية.

عملية تصنيع الطوب Brick Manufacturing Process

إستخدمت التربة المحملة بالبترول كمعنصر من عناصر إنتاج الطوب. و تحل التربة الملوثة إما محل الطفل الصفحي و/أو طين الإشعال المستخدم عادة فى عملية إنتاج الطوب **(brick manufacturing process)**. بصورة عامة، يدمج الطيف و الطفل الصفحى فى خليط بلاستيكي ثم ينبثق و يشكل على هيئة طوب.

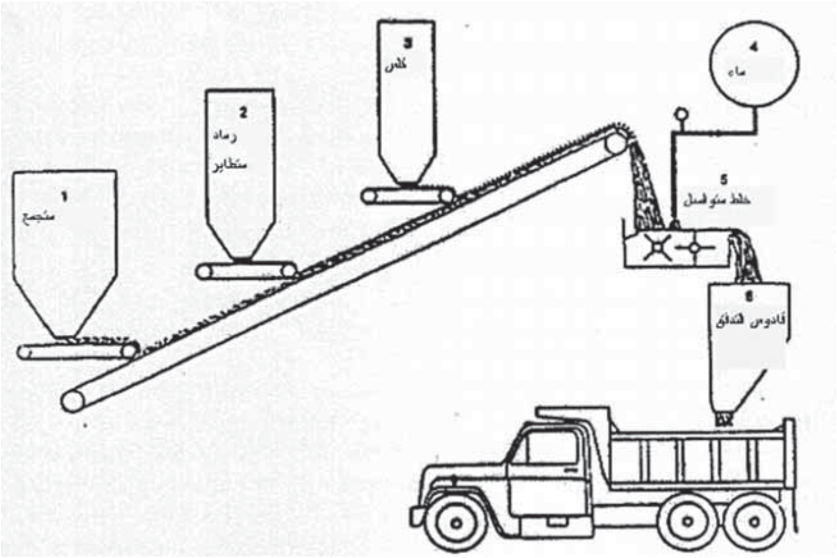
حينما تجفف الطوبة، فإنها تسخن فى موقد عند درجات حرارة تصل الى 2000 درجة فهرنهايت خلال فترة إستبقاء تصل إلى ثلاثة أيام. حينما تضاف التربة الملوثة الى العملية، فإنها تمزج مع الطين و الطفل الصفحى و تشكل فى هيئة طوبة وتجفف وتسخن قبلاً. بعد ذلك تسخن الطوبة عند درجة حرارة تتراوح ما بين 1700–2000 درجة فهرنهايت لمدة 12 ساعة. تحطم درجة الحرارة العالية فى الموقد و زمن الإستبقاء المواد العضوية، و تدمج المواد الغير عضوية فى المنتج النهائى المزجج.

المزايـا المرتبطــة بإســتخدام عمليــة تــصنيع الطــوب لإعــادة إســتخدام أو إعــادة تــدوير التربــات الملوثــة هــى أنــه يمكــن إســتخدام التربــات ذات الحبيبـــات الدقيقـــة، والإنفاذيـــة المنخفـــضة. و أن التقنيـــة المــستخدمة قــد تــم إختبارهــا، و أن عمليــة المعالجــة يمكــن أن تحــدث فــى الموقــع. إلا أن هــذه العمليــة محــصورة بــصورة أساســية فى الهيدروكربونات البترولية و الرماد المتطاير.

التصلب/ التثبيت Solidification/Stabilization

يستخدم التصلب/التثبيت للتربات المحملة بالبترول لتثبيت الملوثات، إما عن طريق تغليفها أو تحويلها. إلا أن هذه الطريقة لا تغير الطبيعة الفيزيائية للملوث. لا تستخدم هذه الممارسة بصورة شائعة على التربات. لأنه لا يحدث فيها تحطيم نهائى للملوثات.

يمكن إجراء عمليات التصلب/التثبيت إما على الموقع أو خارجه. تمزج عدة مثبتات، و مواد مضافة إلى المادة التى يرغب فى التخلص منها. يوضح الشكل 21-12 عملية معممة لتصنيع مادة بوزولانية (طفل صفحى محروق أو طين يشبه الغبار الكيميائى الذى سوف يتفاعل كيميائيا مع هيدروكسيد الكالسيوم عند درجات الحرارة المعتادة، لكى يكون مركبات تمتلك خواص أسمنتية) باستخدام الرماد المتطاير (مهتا 1983 ; مجلس أبحاث النقل1976).



عمليـــات التـــصلب /التثبـــت التـــى تـــستخدم بـــصورة أكثـــر شـــيوعاً لتثبيـــت الفـــضلات الزيتيـــة والأوحـــال المحتـــواة فـــى المحتجـــزات الـــسطحية تنجـــز هـــذه بطـــريقتين. فـــي المحتجـــزات الـــسطحية الموضـــعية يـــضاف العامـــل المثبـــت مباشـــرة إلـــى المحتجـــز و يمـــزج بـــصورة شـــاملة. تـــستخدم المـــادة المعالجـــة فـــى أقـــسام، مـــع تـــصلب كـــل واحـــدة منهـــا، كقاعـــدة تـــسمح للآلـــة بـــأن تـــصل الـــى مـــدى أبعـــد فى المحتجز.

تـــشمل الطريقـــة الثانيـــة حفـــر الأوحـــال المحتـــواة فـــى المحتجـــز بإتبـــاع هذه الطريقة:

- تُـــسوّي الآلات المحركـــة للتـــراب أكـــوام غبـــار الموقـــد فـــى طبقات يتراوح عمقها ما بين 6–12 بوصة،
- ترفـــع آلـــة الوحـــل مـــن المحتجـــز و تـــضعه علـــى قمـــة غبـــار الموقد،

- بعـــد ذلـــك تمـــزج الآلات هـــاتين المـــادتين ســـوية، و يـــساق خـــلاط ســـحق فـــوق الخلـــيط الـــى أن يتحـــصل علـــى التجـــانس، ثم

- يتـــرك الخلـــيط ليجـــف لمـــدة 24 ســـاعة، ثـــم يـــصمت و يختبر فى الحقل(موسر و سمث 1984).

تكـــوم الطبقـــات عـــادة لكـــى تبنـــى مكـــب أوســـاخ فـــى الموقـــع، أو وحـــلاً شبه متصلب يمكن شحنه إلى مكب نفايات آخر.

الإستخلاص الكيميائى Chemical Extraction

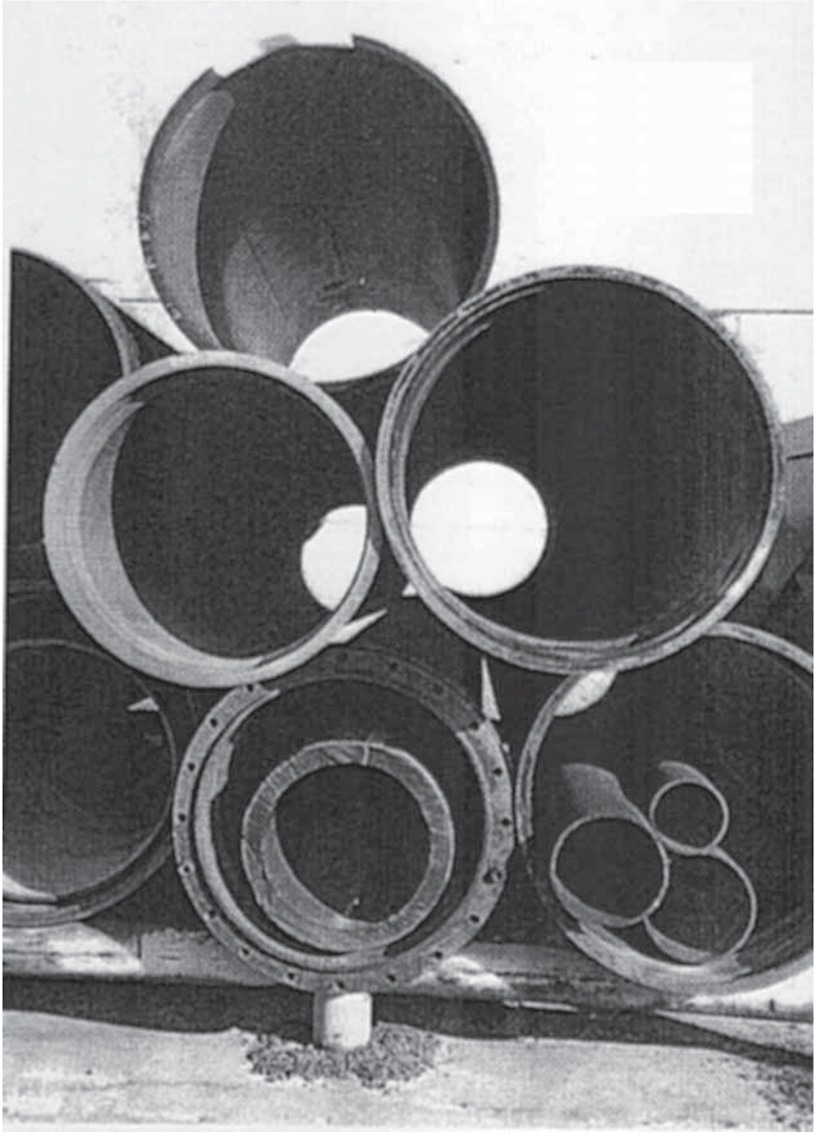
الإستخلاص الكيميائى (**chemical extraction**) هو العملية التى تغسل فيها التربات المحصورة الملوثة، من أجل إزالة الملوثات التى تقلقنا. تنجز عملية الغسل هذه فى منشأة غسل، و تستخدم خليط ماء / مادة نشطة سطحياً، أو ماء/مذيب من أجل إزالة الملوثات. هذه الطريقة شبيهة كل الشبه بعملية الترشيح الموضعية التى وصَفت آنفاً فى هذا الفصل. الفرق الرئيسى أنه بإزالة التربة من الأرض، يمكن أن تستخدم مخاليط الغسيل من دون أن تعرض البيئية لتلوث إضافى. تزيد هذه العملية من إستعادة المنتج وهي طريقة مثبتة لإزالة الملوثات الهيدروكربونية من التربة.

الحفر Excavation

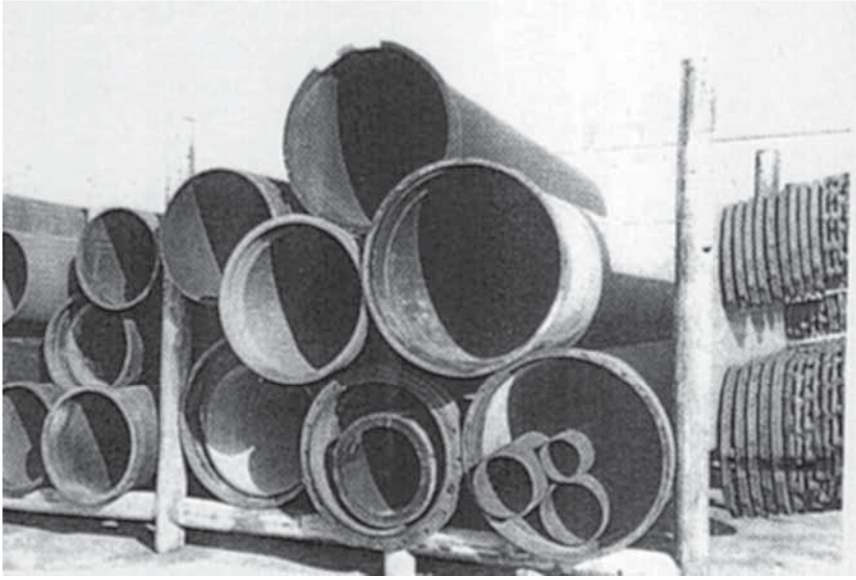
يتضمن الحفر (**excavation**) الإزالة الآمنة (بإستخدام صناديق الخندق،على سبيل المثال) للتربة الملوثة لكي يتخلص منها عند موقع نفايات خطيرة، أو عند أى مكب نفايات آخر (أُنظر الأشكال 21-13--21-15). كانت هذه الطريقة هى الدعامة الأساسية لمعالجة الموقع لعدة عقود، لكن القوانين

المنظمة الجديدة التى تفضل الأساليب البديلة في معالجة النفايات عند المواقع الملوثة لم تعد تشجع إستخدامها. اليوم، يعتبر الحفر بصورة أساسية، وسيلة تخزين لا وسيلة معالجة، ويثير قضايا المسؤولية القانونية المستقبلية بالنسبة للأطراف المسؤولة في ما يخص التخلص النهائى من التربات. أحد العوامل التى تساهم فى تشجيع المنظمين لطرائق المعالجة فى الموقع بدلاً من كب الفضلات، أن مكبات الفضلات توشك أن تصل إلى حدود إمتلائها، إضافة إلى وجود عدد أقل من المواقع التي رخص ببنائها و تشغيلها.

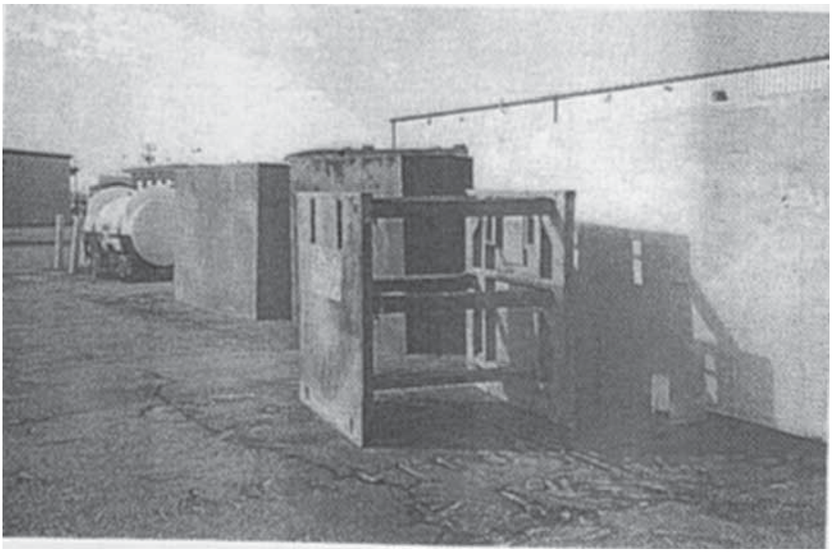
تـــشير وكالـــة حمايـــة البيئـــة (1985) إلـــى الجوانـــب الإيجابيـــة والـــسلبية للحفـــر فـــي الآن نفـــسه. علـــى الجانـــب الإيجـــابى، يـــستغرق إكمـــال الحفـــر و قتـــاً وجيـــزاً، ويـــسمح بنظافـــة كاملـــة للموقـــع. الجوانـــب الـــسلبية هـــى إعتبـــارات ســـلامة العمـــال والمـــشغل الـــضرورية، إنتـــاج الغبـــار والـــروائح، التكلفـــة العاليـــة نـــسبيًا المرتبطـــة بالحفر، والنقل، و التخلص النهائى من التربة.



الشكل 21-13 أنبوب إستبدال حفر



الشكل 21-14 سبعة عشر قسما من أنابيب المواد الكيميائية دمرها التآكل، مزالة من موقع الحفر



الشكل 21-15 صندوق خندق للحفر

ملخص الفصل

Chapter Summary

في بداية هذا الفصل أوضحت جاكلين مكدونالد نقطة أنه" في بواكير التسعينيات، بدأ الرأسماليون المغامرون في الإندفاع أفواجاً إلى سوق تقنيات تنظيف المياه الجوفية و التربة، ناظرين إليه على أنه يقدم إحتمالية ربح جديد معتبر "أشرنا أيضا إلى أنه على الرغم من أن تعليقات ماكدونالد تبدو وكأنها ترسم صورة لماعة لمشاريع تنظيف بيئية مبتكرة –" بصورة أساسية و بلا شك (...) فرصة لا تعوض"، فإن تقنية المعالجة سلاح ذو حدين. على جانب واحد يوجد وعد السوق الواضح، و على الجانب الآخر توجد التجربة العملية، التي أوضحت أن الإستثمارات في المعالجة لم تؤتِ أكلها بالضرورة. فَقَدَ عديد من الرأسماليين المغامرين الأوائل الذين استثمروا في تقنية المعالجة قيمة إستثماراتهم. تشير ماكدونالد أيضاً إلى أن "مستثمري رأس المال متحفظون، اليوم...لأن السوق متقلب جداً وراكد"

على الرغم من الاقتصاد القوى والإنفاق المتزايد على تنظيف موقع الفضلات الخطرة، فإن الإستثمارات الخاصة فى الأساليب المبتكرة لتنظيف المياه الجوفية و التربة قد إنخفضت بشدة. يشير تقرير لمجلس الأبحاث الوطنى نشر فى العام 1997 أن مجموع الإستثمارات الرأسمالية المغامرة فى كل الصناعات، قد زادت بنسبة 87% بين العامين 1992 و 1995. بينما شهدت الفترة الزمنية نفسها تناقص دعم رأس المال المغامر للمعالجة و التقنيات البيئية بنسبة 70% تقريباً. مع النزعة الحديثة تجاه تنظيف البيئة (خصوصا مواقع النفايات الخطيرة

فى الولايات المتحدة) لماذا تتضاءل الإستثمارات فى التقنيات المبتكرة من أجل تنظيف المياه الجوفية والتربة؟.

إعتماداً على المجلس الوطنى للبحوث، حَدَّ عاملان من سوق تقنيات المعالجة فى الولايات المتحدة: التشرذم، وإنعدام الرابط بين التنظيف السريع للمواقع الملوثة و المصلحة المالية الذاتية للأطراف الملوثة. تخلق البرامج التنظيمية المتعددة التى تشرف على المواقع الملوثة مشكلة التشرذم. تتداخل البرامج المتعددة الى درجة محددة، إلا أن لها متطلبات مختلفة للموافقة على تقنية المعالجة.، ولأن تقنية المعالجة مكلفة، و عديد من هذه البرامج المتداخلة تتطلب إيضاحات مكررة من أجل إثبات أن التقنية المعينة تعمل بصورة ترضى المنظمين، تتضخم التكلفة عدة مرات. يفتقر عدد من الشركات الصغيرة الى سريان النقود الذي يمكنها من إنتظار التأخيرات.

يشير المجلس الوطني للبحوث، أيضاً، إلى أن المشكلة الثانية هى نتيجة التأخيرات فى تنظيف الموقع. وجد المدراء الماليون أن إرجاء التنظيف عبر طريقة التقاضي أرخص من تنظيف المواقع الملوثة، لا تتمكن معظم الشركات الصغيرة من دفع رواتب موظفيها من دون وجود دخل منتج على أسس يمكن التنبؤ بها (ماكدونالد 1997، 563).

لدينا المطورون وأساليب المعالجة المبتكرة التى نحتاجها لتنظيف التربات الملوثة. والعنصر الوحيد الذى نفتقر إليه هو الإرادة لفعلها (ضغط الكونغرس لطلبها)، والحوافز المالية للشركات كى تنظف المواقع بسرعة. كلا هذين المطلبين يُحتاجُ إليه من أجل ضمان الربحية للرأسماليين المغامرين كى يزيدوا من إستثمارهم في تقنيات التنظيف المبتكرة.

أسئلة و مسائل للنقاش

Discussion Questions and Problems

1. إشرح لماذا كانت أحواض التخزين الجوفية ما تزال مشكلة بيئية.

2. في مشاريع معالجة التربة، لماذا من المهم أن نجري تقييم المخاطر.

3. ماهى مسارات التعرض؟ ماهى مسارات التعرض للبشر؟

4. لماذا تتطلب بعض مواقع الإنسكاب معالجة موضعية بينما تتطلب أخرى معالجة غير موضعية.

5. ما هى عوامل التربة التي تلعب دوراً فى المعالجة بإستخدام التطيير الموضعي.

6. إشرح التفكيك الحيوي الموضعي.

7. إشرح مثالب المعالجة عن طريق الحفر.

مواضيع و مشاريع بحث مقترحة

Suggested Research Topics and projects

- إجر بحثا (بإستخدام السجلات المحلية، خرائط المدينة القديمة، مقالات الصحيفة و إعلاناتها، والصور الجوية، وإجراء المقابلات مع الجيران) عن المواقع الممكنة لمواقع أحواض تخزين جوفية (مفقودة). بإستخدام

المعلومـــات التـــى جمعتهـــا، قـــيم درجـــة تلـــوث الموقـــع المحتملة، والممكنة، وماهية الملوثات.

- تفحص أرشيف صحيفة (إما صحيفتك المحلية، أو صحيفة المدينة الموجودة فى مكتبك) بحثا عن معلومات عن (1) التطوير المحلّي لأساليب التنظيف المبتكرة أو إستخدامها، أو (2) حوادث المواد الخطيرة وتنظيفها، أو (3) الإهتمام المحلى أو الولائى بقضايا المخاطر البيئية. ماذا يخبرك هذا عن إهتمام حكومتك المحلية بالقضايا البيئية.

- إجـــر بحثـــاً عـــن إحـــدى حـــوادث/ فـــضائح التلـــوث البيئـــى "المـــشهورة" (تـــايمز بـــيش، أو لـــوف كانـــال علـــى ســـبيل المثـــال). أكتـــب عـــن العواقـــب الـــسياسية أو الإجتماعيـــة أو البيئية للحادثة.

- حلــل أداء الأســهم علــى إمتــداد العــشرة ســنين الأخيــرة لعــدد مــن شــركات تقنيــات التنظيــف المبتكــرة، مــن الــذى نجــى؟ لماذا؟

- إجـــر بحثـــاً عـــن إســـتجابة شـــركة كبيـــرة للإتهامـــات بـــالتلوث البيئى.

- إجـــر بحثـــاً عـــن الأســـاليب الحاليـــة للتحـــديث التعـــديلي للأحواض.

- حلل موقعاً محدداً ممكناً لتنصيب حوض تخزين جوفى.

- إجـر بحثـاً عــن حــادث مــواد خطــرة قــديم. طبــق طــرق تقيــيم المخـــاطر الحديثـــة علـــى ذلـــك الوضـــع. مـــا الـــذى كانـــت ستتطلبه القوانين المنظمة و المعايير اليوم؟
- تفحـص إختلافـات المتطلبـات التنظيميـة بـين وكالـة حمايـة البيئـة، وقـانون الإسـتجابة البيئيـة الـشاملة و التعويـضات و المـسؤولية القانونيـة، و قـانون الحفـاظ علـى المـوارد الطبيعية و إستعادتها.

المراجع المثبتة

Cited References

American Petroleum Institute. *Landfarming: An Effective and Safe Way to Treat/Dispose of Oily Refinery Wastes*. Washington, D.C.: Solid Waste Management Committee, 1980.

Blackman, W. C., Jr. *Basic Hazardous Waste Management*. Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers, 1993.

Bossert, I., and R. Bartha. "The Fate of Petroleum in Soil Ecosystems." In *Petroleum Microbiology*, ed. R. M. Atlas. New York: Macmillan, 1984.

Brown, R. S., R. D. Norris, and M. S. Estray. *In Situ Treatment of Groundwater*. Baltimore, Md.: HazPro 86: Professional Certification Symposium and Exposition, 1986.

Ehrhardt, R. F., P. J. Stapleton, R. L. Fry, and D. J. Stocker. *How Clean Is Clean?—Clean up Standards for Groundwater and Soil*. Washington, D.C.: EEI, 1986.

EPA. *Leak Lookouts: Musts for USTs*. Washington, D.C.: Office of Underground Storage Tanks, 1988. Report no. 530/UST-88/006 & 530/UST-88/008.

———. *Remedial Action at Waste Disposal Sites* (revised). Washington, D.C.: EPA, 1985.

———. *Review of In-Place Treatment Techniques for Contaminated Surface Soils. Volume 1: Technical Evaluation*. Washington, D.C.: EPA 540/2-84-003.

EPRI and EEI. *Remedial Technologies for Leaking Underground Storage Tanks*. Chelsea, Mich.: Lewis Publishers, 1988.

Grady, P. C. "Biodegradation: Its Measurement and Microbiological Basis." *Biotechnology and Bioengineering* 27 (1985): 660–74.

Heyse, E., S. C. James, and R. Wetzel. "In Situ Aerobic Biodegradation of Aquifer Contaminants at Kelly Air Force Base." *Environmental Progress* (1986): 207–11.

ICAIR. Life Systems, Inc. *Toxicology Handbook*. Washington, D.C.: EPA, 1985.

Johnson N. P., and M. G. Cosmos. "Thermal Treatment Technologies for HazWaste Remediation." *Pollution Engineering* (October 1989): 79.

Jury, W. A. "Volatilization from Soil." In *Guidebook for Field Testing Soil Fate and Transport Models-Final Report*. Washington, D.C.: EPA, 1986.
Kehew, A. E. *Geology for Engineers & Environmental Scientists*. 2nd ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1995.
MacDonald, J. A. "Hard Times for Innovation Cleanup Technology." *Environmental Science & Technology* 31, no. 12 (December 1997): 560–63.
Mehta, P. K. "Pozzolanic and Cementitious By-Products as Miner Admixtures for Concrete—A Critical Review." In *Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Other Mineral By-Products in Concrete*, Vol. 1, ed. M. Malhotra. Farmington Hills, Mich.: American Concrete Institute, 1983.
Musser, D. T., and R. L. Smith. "Case Study: In Situ Solidification/Fixation of Oil Field Production Fluids—A Novel Approach." In *Proceedings of the 39th Industrial Waste Conference*. Purdue University, 1984.
National Research Council. *Innovations in Groundwater and Soil Cleanup: From Concept to Commercialization*. Washington, D.C.: National Academy Press, 1997.
Pacific Northwest Laboratories. *Application of In Situ Vitrification to PCB-Contaminated Soils*. Prepared for Electric Power Research Institute, EPRCS-4834, RP1263-24, 1986.
Sommerer, S., and J. F. Kitchens. "Engineering and Development Support of General Decon Technology for the DARCOM Installation Restoration Program." *Task 1 Literature Review on Groundwater Containment and Diversion Barriers (Draft)*. Aberdeen Proving Ground, Md.: U.S. Army Hazardous Materials Agency, 1980.
Testa, S. M. *The Reuse and Recycling of Contaminated Soil*. Boca Raton: Fla.: CRC/Lewis Publishers, 1997.
Transportation Research Board. *Lime-Fly Ash: Stabilized Bases and Subbases*. TRB-NCHRP Synthesis Report 37, 1976.
Weston, R. F. "Underground Storage Tank Leakage Prevention, Detection, and Correction." *Report for Petroleum Marketers Association of America*, 1986.
Wilson, J. T., L. E. Leach, M. Benson, and J. N. Jones. "In Situ Biorestoration as a Ground Water Remediation Technique." *Ground Water Monitoring Review* (Fall 1986), 56–64.

المراجع المقترحة

Suggested References

Ahmed, J. *Use of Waste Materials in Highway Construction*. Park Ridge, N.J.: Noyes Data Corporation, 1993.
Alexander, M. *Biodegradation and Bioremediation*. San Diego: Academic, 1994.
EPA. *Ground Water, Vol. I: Ground Water & Contamination*. Washington, D.C.: EPA 1990. /625/6-90-016a.
———. *Seminar on Transport & Fate of Contaminants in the Subsurface*. Washington, D.C.: EPA/CERI-87-45, 1987.
Fetter, C. W. *Contaminant Hydrogeology*. New York: Macmillan, 1993.
Kostecki, P. T., and E. J. Calabrese. *Petroleum Contaminated Soils*. Vol. I. Chelsea, Mich.: Lewis Publishers, 1989.
Lar, R., W. H. Blum, and C. Valentine. *Methods for Assessment of Soil Degradation*. Boca Raton, Fla.: CRC Press/Lewis Publishers, 1997.
Palmer, C. M. *Principles of Contaminant Hydrogeology*. Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers, 1992.
Tan, K. H. *Environmental Soil Science*. New York: Marcel Dekker, 1994.

الجزء الخامس

النفايات الصلبة والنفايات الخطرة

الفصل الثاني والعشرون

النفايات الصلبة
Solid Wastes

عرف البشر دائماً بمخلفاتهم. يوفر لنا ركام القمامة الأثرية (التي يطلق عليها إسم مزابل middens) ثروة من المعلومات عن أسلافنا القدماء وحيواتهم. فمن منظور تاريخي، سمحت البقايا المتخلفة عن القمامة لعلماء الآثار بدراسة البشر في أيامهم الأولى، وإكتشاف العديد من الحقائق المدهشة عنهم (وعنا نحن).فمن سجل القمامة،علي سبيل المثال، تبين بشكل قاطع أن البشر وفي جميع مراحلهم قد عاشوا وبشكل دائم مع كميات مهولة من النفايات تحت أقدامهم ومن حولهم. وهو وضع لا يزال قائماً حتى هذه الأيام في الدول النامية الأشد فقراً، هذه العادة الإنسانية جداً تشكل خطراً ماثلاً للبشر اليوم كما كانت على الدوام.

بحلول القرن العشرين أزالت معظم الدول الصناعية (في مقارباتها الحديثة للصحة العامة) القمامة، والنفايات البشرية الأخرى من بيئات السكن والعمل. ولكن ماذا عن البيئات الأخرى ؟ البيئات التي نسيء استخدامها والتي نادرا ما نفكر بشأنها (تلك التي يعتمد عليها قوام حياتنا) – والتي فيها نعيش: بهوائها، وتربتها، ومائها، وكل العناصر الضرورية لبقائنا ذاته – العالم الطبيعي.

لقد أقررنا سابقاً أن بإستطاعة البشر تحمل أي شئ تقريباً، حتى يصير هذا الشئ مصدراً للإزعاج. حينئذ، بالطبع، يصبح من الواجب إزالته – المتلازمة القديمة " البعيد من العين بعيد من البال". إذاً، ماذا فعلنا ؟ وما الذي نفعله الآن؟

قمنا بتحويل ونقل قمامتنا من مناطق سكننا وعملنا المباشرة إلي ممرات المياه، وردمناها أو أحرقناها في مقالب للقمامة (تُدعى الآن محتجزات سطحية surface impoundments) أو رمينا بها في ما يُعرّف بمكّبات النفايات (landfills) (وهي غالباً أراضٍ رطبة wetlands تم طمرها تحسبا لإستخدامات مستقبلية).

وقد كانت النتيجة من الجسامة بحيث غُلبت على/وفي بعض الأحيان قتلت الحياة بشكل مباشر في البيئات المحلية .ففي كل عام، وفي الولايات المتحدة الأمريكية وحدها يُنتج قرابة العشرة مليارطن متري من النفايات الصلبة غير الزراعية.إن النفايات الصلبة المدينية وحدها تفوق 150 مليون طن متري سنوياً. إن المواطن الامريكي يتخلص يومياً من أربعة أرطال من النفايات في المتوسط، أي مايعادل 1500 رطل للفرد سنوياً.

ولكن الامر الجديد والخطير عن القمامة الحديثة ليس محصوراً في كميتها المهولة (رغم ضخامتها)، بل في سميتها وإستمرار بقائها. فمعظم النفايات، في الأزمان السابقة، كانت قابلة للتحلل الحيوي Biodegradable، بمعني أنه يمكن لها أن تتحلل، وقد تحللت بالفعل في البيئة كجزء من العملية الطبيعية (عبر دورات إحيائية، وكيمائية، وجيولوجية). أما هذه الايام، فقد تعود البشر على إستخدام منتجات تصنع من أو تنتج مواد سامة، وعدد آخر من المواد الخطيرة. عدد من هذه المواد، هو إما سام أساساً، أو يصبح كذلك في ظروف معينة- على سبيل المثال، عندما تحترق أو تتفاعل مع بعض المركبات الكيمائية الأخرى لتكون خميرة كيمائية على درجة غير معروفة من السّمية. تدخل هذه الخميرة الكيميائية في السلسلة الغذائية ويتم تمريرها، بتركيز، في أجسام الكائنات الأكبر حجماً. إن عدداً من نواتج هذه النفايات وخصوصاً مبيدات الآفات، والبلاستيك، تظل في البيئة سنوات وعقوداً، بل وأبعد من ذلك.

قبل عشرين عاماً من الآن، إتفقت صحف وول ستريت جورنال *Wall Street journal*، والواشنطن بوست *Washington Post* وكريستيان ساينس مونيتور *Christian Science Monitor* على وصف نظام التخلص من النفايات بـ"الكارثة" (Peterson، 1987، Tong،1987، Ritchard، 1988) هل نجحنا في تخطي الكارثة؟ هل يمكن أن تُحل ؟ أم سنستمر في توسيع خط القمامة الاثري تاركين وراءنا لعلماء الآثار المستقبليين سجلاً للدراسة، سيرسم صورة لجيلنا تتسم بالغباء، والتجاهل التام وإساءة الاستخدام المتعمد– وبالقدرة فقط على الأحكام الخاطئة– حين يصير الضمير أمراً يخص الشخص الآخر، والأجيال الأخري؟

أهداف الفصل

Chapter Objectives

- وصف ومناقشة المشاكل المتعلقة بالتخلص من النفايات الصلبة.
- التعرّف على المشاكل التي يحتمل أن يواجهها مجتمعنا بسبب ممارسات الإنتاج والتخلص من النفايات الصلبة.
- تعريف ووصف النفايات الصلبة المدينية.
- التعرّف على القوانين الرئيسية التي تحكم التخلص من النفايات وأغراضها.
- التعرّف على، ووصف النفايات الصلبة وخواصها.
- التعرّف على، مناقشة أكبر مصادر النفايات الصلبة في الولايات المتحدة الامريكية.
- مناقشة عواقب الكتل الضخمة من النفايات التي تنتج في الولايات المتحدة سنوياً.
- التعرّف على ومناقشة مصادر النفايات الصلبة المدينية في الولايات المتحدة

خطة الفصل

Chapter Outline

- تعريف ومناقشة: النفايات المنتجة انسانياً والتخلص من النفايات.
- مثال: الإبحار بتيار النفايات على طريق الدائرة العظمي.
- مناقشة:التشريعات البلدية،الفدرالية والولائية للتخلص من النفايات.
- مناقشة ووصف : تصنيف ووصف النفايات الصلبة.
- مناقشة:مصادر النفايات الصلبة:النفايات السكنية، التجارية، المؤسسية، أعمال البناء، الخدمات البلدية، ومعالجة مخلفات النبات.

Key Terms المصطلحات الأساسية

commercial source of msw	المصادر التجارية للنفايات الصلبة المدينية	biodegradable	قابلة للتحلل الاحيائي
،comprehensive environmental reponse compensation and liability act (cercla)			قانون الاستجابة البيئية الشاملة،التعويض والمسئولية القانونية
		garbage	القمامة
construction and demolition source of msw			اعمال البناء والهدم كمصدر للنفايات الصلبة المدينية
interstate commerce clause	بند التجارة بين الولايات	institutional source of msw	المصادر المؤسسية للنفايات الصلبة المدينية
litter	الفضلات	land fills	مكّبات النفايات
		municipal service source of msw	الخدمات المدينية كمصدر للنفايات

الصلبة المدينية			
المخلفات	leftover	مهملات	trash or refuse
قانون الانهار والمؤاني	rivers and harbor act (1899)	النفايات الصلبة	solid wastes
قانون التخلص من النفايات الصلبة (1965)	solid waste disposal act (1965)	تيار النفايات الصلبة	solid wastestream
المحتجزات السطحية	surface impoundment	منشآت المعالجة كمصدر للنفايات الصلبة	treatment plant site source of msw
الاراضي الرطبة	wetland	البضائع البيضاء	white goods
النفايات الصلبة المدينية	municipal solid wastes		

مقدمـــة Introduction

في الجزء الأخير من هذا النص، نناقش مشكلة مهمة ومتفاقمة، ليس فقط لكل ممارسي علم البيئة بل للإنسانية جمعاء:النفايات المنتجة بشرياً .وبالتحديد ماذا نحن فاعلون بكل النفايات التي تنتج، ماهي البدائل؟ وماهي التقنيات المتاحة لنا اليوم لتخفيف وطأة "مشكلة النفايات" – المشكلة التي تزداد مع كل يوم ينقضي.

وقبل أن نستهل نقاشنا، فلنركز على سؤال واقعي: عندما نرمي بمخلفاتنا بعيداً، هل تختفي فعلاً؟ يذكر أنه على الرغم من أننا نواجه اليوم، وفي المستقبل القريب بجبال من النفايات التي أنتجناها (وبدأنا لا نجد مكاناً في

الأرض لنتخلص فيه منها)، إلا أن مشكلة ملحة ذات شقين تقترب منا – إحدهما يتعلق بسُمية النفايات، والآخر بإستمرار بقائها.

سنناقش مشكلة النفايات وسميتها لاحقاً، فكر الآن في استمرار بقاء النفايات التي نتخلص منها. وعلي سبيل المثال، عندما نحفر أنفاقاً ضيقة وعميقة، ثم نضع بداخلها عدة عبوات زنة 55 جالوناً من النفايات السائلة، ومن ثم ندفن كل هذا الخليط القذر، هل نكون فعلاً قد تخلصنا من النفايات بشكل صديق للأرض؟ وهل نكون، فعلاً، قد تخلصنا منها إلى الأبد ؟ ماذا الذي يحدث بعد ذلك بسنين قليلة عندما تتآكل عبوات الخمسة والخمسين جالون، وتتسرب؟ أين تذهب كل النفايات ؟

ماهي عواقب ممارسات كهذه؟ اليست لها أي اهمية بالنسبة لنا اليوم لأنها مشاكل الغد؟ نحتاج أن نسأل انفسنا هذه الاسئلة، ونحدد الإجابات الآن. وإذا كنا غير مرتاحين للإجابات التي نأتي بها الآن، ألا يجدر بنا أن نشعر بالشعور ذاته حيال الاجوبة التي سيتعين على شخص آخر (أحفادنا) أن يأتوا بها.

ليس من السهل التخلص من النفايات. بإمكاننا أن نخفيها. وأن ننقلها من مكان الى مكان. ومن الممكن أن نأخذها إلى أقصى أطراف الأرض. ولكن وبسبب مقدرتها على البقاء، لا تختفي هذه الملوثات قط عندما نظنها كذلك. إن لديها طريقة للعودة، وطريقة لتذكيرنا– طريقة للبقاء.

ما مقدار إستمراريتها ؟ لديها قدرة عالية جداً على البقاء، كما توضح لنا آلاف الحالات الموثقة بشكل جلي. تسرد دراسة الحالة 22-1 تجربة شخصية مع النفايات واستمرار بقائها مأخوذة من *علم الماء*(1998). تذكر أن هذا مثال هين . وهناك عدد من الامثلة الموثقة الأكثر خطورة .

دراسة الحالة 22-1

Case Study

طريق الدائرة العظمى

The Great Circle Route

إذا كنت سافرت من الساحل الشرقي للولايات المتحدة إلي أوربا عن طريق البحر عبر المحيط الاطلسي، فإنك على الأرجح تكون قد سافرت عن طريق الدائرة العظمى.هذا الطريق هو أقرب مسافة بين القارتين . وهذا هو الحال لأن الطريق يتبع الهندسة الدائرية للارض .

خلال هذا السفر يستخدم القبطان نظام مساعدة عبرالأقمار الصناعية ومساعدات الكترونية أخرى، وبوصلة السفن القياسية . وبالطبع هذه ممارسة ممتازة لفن الابحار (ولكثير من الفهم العام).

وخلال رحلة علي الطريق ذاته في العام 1980، عندما حظيت بشرف وغبطة أداء الواجب كضابط ملاحة، في إحدى سفن سلاح البحرية الأمريكية، أصبح أحد الامور واضحاً لي على الفور. إكتشفت أنه حتى إذا تعطل نظام الملاحة عبر الاقمار الصناعية، ومساعدات الملاحة الإلكترونية والبوصلة، وحتى إذا كانت السماء ملبدة بالغيوم طوال فترة الرحلة (مما يمنعني من الإبحار مستعينا بالنجوم وبالخطوط الشمسية، الخ)، فإنني لن ألاقي سوى مشقة قليلة في إيجاد طريقي، مبحراً بسفينتي إلي وجهتها الأوروبية.

لن أجد سوى مشقة قليلة لأن كل الذي يتوجب عليّ فعله هو الابحار مقتفياً الأثر– العلامات – معالم الطريق – بقايا من سفن أبحرت على الطريق ذاته. لم أكن قط قد رأيت طريقاً بالوضوح ذاته. قمامة ونفايات من كل الأنواع، ومخلفات تشبه البلاستيك تطفو بجوارها. كان هذا الأثر العائم ضيقاً، إلا أنه واضح ومميز. وفي المساء كان خط أثر القمامة يُرى بسهولة من الأضواء التي تعكسها كشافات السفينة الخافتة.

عندما رأيت خط القمامة هذا للوهلة الاولى، هززت رأسي بإشمئزاز. لم يكن ثمة شك في أن هذا الطريق قد سُلك وبكثافة من قبل الآخرين. كان هذا جلياً لأن الإنسان قد ترك بصمته – وللانسان عادة سيئة في فعل هذا. الأمر يتلخص في تفكير"البعيد من العين بعيد من البال". أو ربما عندما نسئ استخدام مواردنا بهذا الشكل، ربما نفكر في أنفسنا " لماذا نقلق بشأنها، دع الرب يحل المشكلة"

وهذا عين ما يقلق كثيراً من الناس (بمن فيهم أنا)، ففي النهاية ربما يكون عقاب الرب كبيراً (5).

في هذا الفصل، نعرّف ونناقش النفايات الصلبة. وبالتحديد سنركز على جزء مهم من النفايات الصلبة، النفايات الصلبة المدينية Municipal Solid Wastes (MSW)، لأن معظم الناس الذين يسكنون في المناطق المدينية هم من ينتجونها. كما نناقش ايضاً مشكلة بارزة أخرى متعلقة بالنفايات:النفايات الخطرة (الفصل الثالث والعشرون). يقدم الفصل الرابع والعشرون تقنيات التحكم بالنفايات المتعلقة بتقليل حجمها، معالجتها والتخلص منها.

Solid Waste Regulatory History (United States)

التاريخ القانوني للنفايات الصلبة (الولايات المتحدة)

للجزء الاعظم من تاريخ الأمة، كانت القوانين البلدية (دون عن التشريعات الفيدرالية المنظمة) في ما يخص النفايات الصلبة، هي التشريعات الوحيدة المتبعة. وقد تحكمت هذه الحكومات البلدية المحلية في النفايات الصلبة تقريباً منذ البداية، لكل مستوطنة، وذلك بسبب المشاكل الصحية الخطيرة التي ترتبت على إلقاء النفايات في الطرقات. فإلى جانب منع رمي النفايات في الطرقات، فإن التشريعات البلدية غالباً ما أقرت شروطا للتخلص السليم من النفايات في الاماكن المخصصة لها، كما أشترطت على الملاّك أن يزيلوا أكوام النفايات من الأملاك العامة.

لم تبدأ الحكومة الفدرالية بتشريع القوانين المتعلقة بالتخلص من النفايات الصلبة حتى أصبحت انهار ومؤانيء البلاد إما تنوء تحت وطأة النفايات غير المعالجة، أو تمضي في ذلك الإتجاه. استخدمت الحكومة الفدرالية قواها الدستورية المفوّضة بموجب بند التجارة بين الولايات (Interstate Commerce Clause) في الدستور لتصدر(**قانون الانهار والموانئ)** Rivers and Harbours Act في العام 1899. وقد منحت وحدات من مهندسي الجيش الأمريكي السلطة لتشريع، وفي بعض الاحيان تحريم، ممارسات رمي النفايات المدينية والخاصة .

لم يظهر دور الكونجرس الى العيان إلا أخيراً، في عام 1965 (ونتيجة للرأي العام القوي) عندما تبنى قانون التخلص من النفايات الصلبة (Solid Waste Disposal Act) لسنة 1965 بحيث أصبح من مسؤوليات القطاع الصحي العام في الولايات المتحدة إنفاذه. وقد كان الهدف منه هو أن:

1- يشجع إبراز وإنشاء وتطبيق أنظمة إدارة التخلص من النفايات واسترجاع المصادر الطبيعية، التي تحافظ على، وتعزز من نوعية الهواء، والماء، والمصادر الأرضية

2- يقدم المساعدة التقنية، والمالية للحكومات الولائية، والمحلية، والوكالات البين ولائية في تخطيط وتنمية برامج التخلص من النفايات وإسترجاع المصادر الطبيعية

3- يشجع برنامج البحث والتنمية الوطنية من أجل تقنيات إدارة محسنة، وترتيبات تنظيمية أكثر فعالية، وطرق جديدة ومحسنة لتجميع، وفرز، وإستعادة، وإعادة تدوير النفايات الصلبة، والتخلص بطريقة آمنة بيئياً، من النفايات غير المسترجعة.

4- يقدم الدعم لنشر التوجيهات الخاصة بتجميع، ونقل، وفرز، وإستعادة النفايات الصلبة والتخلص منها.

5- يدعم المنح التدريبية للمهن التي تتعلق بتصميم وتشغيل والمحافظة على أنظمة التخلص من النفايات (تكوبانوقولوس، ثيسين، وفيجيل1993)

بعد يوم الأرض سنة 1970، أصبح الكونجرس أكثر تنبها لمشاكل النفايات. وفي العام 1967 أجاز الكونجرس ضوابط للنفايات الصلبة كجزء من قانون الحفاظ على المصادر الطبيعية واستعادتها Resource (Conservation and Recovery Act) (RCRA). وقد تم تعريف "النفايات الصلبة" فيه بإعتبارها أي قمامة، أو مخلفات أو وحل ينتج عن منشأة معالجة النفايات، أو منشأة معالجة الإمداد المائي، أو منشأة ضبط تلوث الهواء، أو أي مواد أخرى تم التخلص منها.

في العام 1980، أجيزت الفقرة 9601 من القانون العام 510-96، 42 من قانون االولايات المتحدة الإستجاية البيئية الشاملة، والتعويض، والمسئولية القانونية Comperhensive Environmental Response، Compensation and Liability Act (CERCLA) لتوفر وسائل للإستجابة المباشرة، وتمويل الأنشطة المتعلقة بالإستجابة لمشاكل مواقع التخلص من النفايات غير المضبوطة. وتعرّف مكّبات النفايات الصلبة المدينية غير المضبوطة بالمنشآت التي لم تُشغّل، أو لا يلتزم في تشغيلها بقانون الحفاظ على المصادر الطبيعية وإستعادتها.(وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة 1989)

الآن، هناك عدد من القوانين السارية لضبط المشاكل المتعلقة بإدارة النفايات الصلبة. لقد شجع التشريع الفدرالي، والقوانين المرتبطة به على تنفيذ برامج التخلص من النفايات على المستوى الولائي للحكم. وعلى مايبدو فإن التشريعات القانونية ستكون جزءاً مهما من مستقبل ادارة النفايات الصلبة.

خواص النفايات الصلبة

Solid Waste Characterstics

النفايات الصلبة (Solid Waste) (وتدعى أيضاً، فضلات (refuse)، قاذورات (litter)، مهملات (rubbish)، ونفايات، ومخلفات (trash)– وبشكل خاطئ– قمامة(garbage)) تشير إلي أي مجموعة من المواد التي تم رميها، أو التخلص منها بإعتبارها مستهلكة، أو غير نافعة، أو عديمة القيمة، أو زائدة عن الحاجة. يقدم الجدول 22-1 نظام تصنيف مفيد للنفايات.

جدول 22-1 تصنيف النفايات الصلبة

النوع	المكونات الاساسية
مخلفات	النفايات الورقية شديدة الاشتعال، الخشب،الألواح الكرتونية، وتشمل حتى 10 بالمائة من الورق المعالج، والبلاستك والخردة المطاطية. مصادر تجارية وصناعية
مهملات	نفايات ورقية قابلة للاشتعال، خرق، وخردة خشبية، وكناسة أرضية قابلة للإشتعال. مصادر سكنية، تجارية وصناعية
فضلات	المهملات والقمامة .مصادر سكنية
قمامة	نفايات الحيوانات والخضروات، نفايات المطاعم والفنادق والأسواق. مصادر مؤسسية، تجارية، ومن النوادي.

من الأفضل تعريف النفايات الصلبة بإعتبارها "أي شئ مادي لم يعد مرغوباً فيه".يشير أورايلي O' Reilly (1992) إلى أن تعريف النفايات الصلبة أمر مراوغ، لأن النفايات الصلبة هي سلسلة من المتناقضات.

- ما يكون شخصياً في سلة مهملات المطبخ، يصبح غير شخصي في مكّب النفايات.

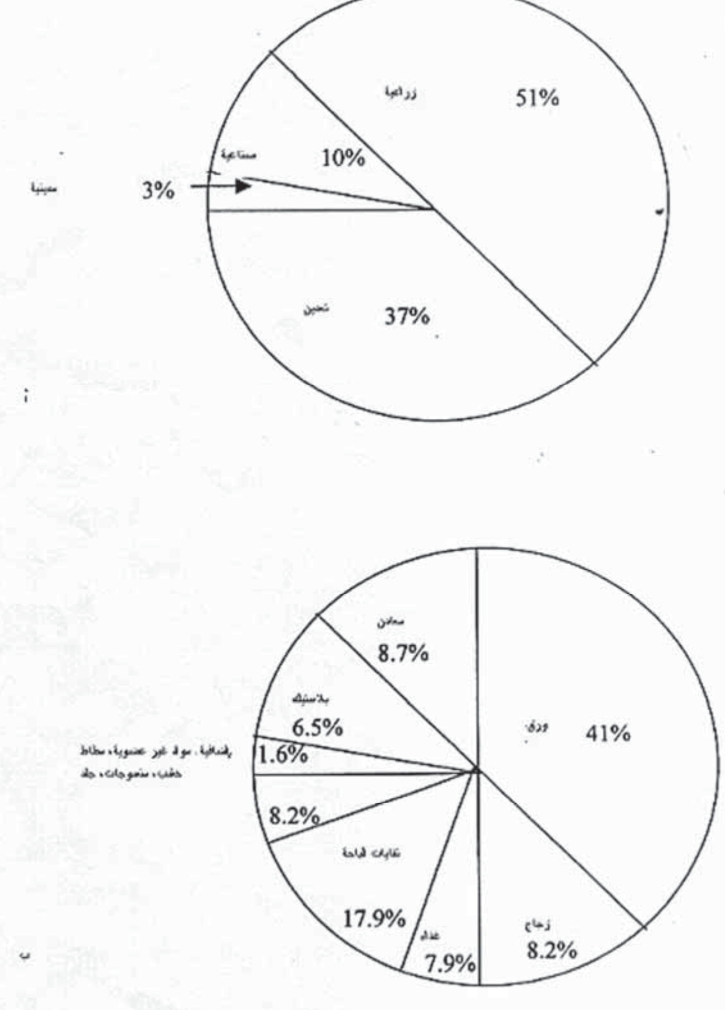
- والشيء الذي يعتبره أحد الأفراد عديم القيمة (معطف غير مساير للموضة، او أصبح واسعاً على صاحبه على سبيل المثال) ولا يصلح سوى لسلة المهملات– قد يراه شخص آخر على أنه ذو قيمة.
- وما يبدو قليل التكلفة بالنسبة لبعض الأمريكيين– ولكنه على الرغم من ذلك سيصبح مكلفاً لمجتمعنا على المدى الطويل.
- القضية التي تستدعي اهتماماً فدراليا جاداً– قد تكون مشكلة محلية كلياً من بلدية إلى أخرى.

إن المقولة القديمة الشهيرة دقيقة – أي شخص يريد للنفايات أن تلتقط، ولكن لا أحد يريدها أن ترمى أرضاً . ومن نافلة القول أن المقولة الأخرى هي أيضاً دقيقة "ليس في باحتى الخلفية". إن النقطة المهمة هنا،على أي حال، هي أنه وقتما نرمي بشئ مادي، وبغض النظر عن قيمته الفعلية، أو المحتملة، فإنه يصبح نفايات صلبة.

إن القمامة (بقابليتها للتحلل وإنتاج روائح كريهة) غالباً ما تستخدم كمرادف للنفايات الصلبة، ولكنها في الواقع تشير بشكل حصري لفضلات الحيوانات، والخضروات الناتجة من التعامل مع، أو تخزين، أو إعداد، او إستهلاك الطعام.

يدعى الانتاج الجمعي والمتكرر لكل انواع المخلفات (مجموع كل النفايات من شتى المصادر) تيار النفايات الصلبة(solid wastestream). وكما ذكرنا سابقاً، فإن مايقدر بستة مليار طن متري من النفايات الصلبة تنتج سنوياً في الولايات المتحدة (الشكل 22–1–أ) .إن المصدرين الاكبر للنفايات هما الزراعة (الأسمدة الحيوانية، بقايا المحاصيل،والمنتجات الزراعية الثانوية الأخرى) والتعدين (التراب، فتات الصخور، الرمل، والخبث، والمواد التي تفصل من المعادن أثناء صهرها). وما يقارب ال10% من تيار النفايات ينتج من

النشاطات الصناعية (البلاستك، الورق، الرماد المتطاير، الخبث، الخردة، والاوحال والمواد الصلبة الحيوية الناتجة من منشآت المعالجة).



الشكل 22-1 أ: مصادر النفايات الصلبة في الولايات المتحدة.; مكونات النفايات الصلبة المتخلص منها في يوم عادي بواسطة كل أمريكي. وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة. ملاقاة التحدي البيئي، تشخيص الفضلات الصلبة المدينية في الولايات المتحدة.: تحديث 1992، 1992.

من الشكل 22–1– أ نرى أن نسبة الثلاثة في المائةالأخرى من النفايات، تتكون من النفايات الصلبة المدينية، التي هي محور تركيز هذا الفصل، وتتكون أيضاً من مخلفات المنازل، والأعمال، والمؤسسات. من الشكل 22–2– ب نرى أن الورق والألواح الورقية تمثل النسبة الأكبر(حوالي 41 %) من مواد المخلفات حسب حجمها من النفايات الصلبة المدينية . وتأتي نفايات الساحات في المرتبة الثانية، بنسبة تقارب 18% .في حين يكوّن الزجاج والمعادن حوالي 17%من النفايات الصلبة المدينية، ومخلفات الطعام تقل بقليل عن 8% والمواد البلاستيكية حوالي 6.5% .

تشير وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة (1990) الى أن ما يقارب ال178 مليون طن متري من النفايات الصلبة المدينية أنتجت في أمريكا في العام 1990، وهي القيمة المكافئة لما يزيد قليلاً عن أربعة ارطال لكل فرد يومياً. وبحلول العام الفين قدّرت الوكالة إن انتاج النفايات في أمريكا، سيرتفع إلي أكثر من 197 مليون طن متري سنوياً، تقريباً 4.5 أرطال من النفايات للفرد يومياً.

دراسة الحالة 22-2

Case Study

تنظيف النهر

River Cleanup

يجد المقطوعون لتنظيف نهر كونستوجا، الذي ينظم بشكل نصف سنويً، كل شئ في النهر من إطارات السيارات، والغسالات، والدراجات، ومن السكوتر إلي لفافات الحلوى ومحركات العربات – مايعادل حمولة عدة شاحنات من النفايات، مرتين في كل عام وبشكل سنوي.وفي بعض السنوات،تُمكن مستويات المياه المنخفضة المتطوعين من أن يزيلوا النفايات من منتصف النهر،الذي لا يمكن الوصول إليه في مواسم المياه العالية. يبيع المتطوعون المعادن كقطع خردة،

في حين تلغي سلطة النفايات في مقاطعة لانكستر الرسوم المقررة للتخلص من بقية النفايات التي تم رميها بشكل غير قانوني.

كما يقوم المتطوعون بزراعة الشجيرات (التي تبرعت بها مؤسسة خليج شيسبيك) على ضفتي الغدير، وذلك لخدمة الغرض المزدوج بحل مشكلة التعرية، وليمنعوا رمي النفايات. وفي كل عام يرى المنظمون دلائل على أن برنامج تنظيف النهر يقدم المساعدة في عدة مناح. فقد ازداد عدد المتطوعين سنوياً، مما يتيح للمجموعة توسيع نشاطها. وقد شعروا أن الرسالة قد وصلت للناس بأن النهر ليس المكان الذي ترمى فيه النفايات. وسنوياً تقل النفايات المستخرجة من النهر– وذلك بسبب أمرين: كمية أقل من النفايات لتزال، نتيجة الجهود المنتظمة للتنظيف، وكمية أقل من النفايات الملقاة، نتيجة جهود التوعية العامة. يأمل ممثل الولاية مايك ستورلا أن الناس قد بدأوا فهم أن " هذا ليس مكان رمي النفايات"

مصادر النفايات الصلبة المدينية
Sources of Municipal Solid Wastes

تتعلق مصادر النفايات الصلبة المدينية عامةً بإستخدامات الاراضي وتخصيصها للاغراض المختلفة . تشمل مصادر النفايات الصلبة، المصادر السكنية، والتجارية، والمؤسسات، وأعمال البناء والهدم، والخدمات المدينية، ومنشآت المعالجة.

المصادر السكنية للنفايات الصلبة Residential Sources of MSW

وتنتج من المباني المنفردة، أو مساكن العائلات المتعددة المنفصلة، وعمارات الشقق السكنية. وتشمل النفايات المنتجة فضلات الطعام،المنسوجات، الورق، الالواح الورقية، الزجاج، الأخشاب، الرماد، والعلب الفارغة،الألمونيوم، وأوراق الشجر المتساقطة على الطرقات، وأنواعاً خاصة تشغل حيزاً كبيراً وتشمل نفايات الساحات التي تُجمع بشكل منفصل، البضائع البيضاء

(الثلاجات،الغسالات،والنشافات،الخ)، البطاريات، الزيوت، إطارات السيارات، والنفايات الخطرة على المنازل .

المصادر التجارية للنفايات الصلبة
Commercial sources of MSW

وتنتج من المطاعم، والفنادق، والحوانيت، ونزل المسافرين، ومحطات الخدمة، ومحلات التصليح، والمباني المكتبية، ومحلات الطباعة. تشمل أنواع النفايات الصلبة المنتجة الورق،و الألواح الورقية، والأخشاب، والبلاستيك، والزجاج، ونفايات خاصة مثل البضائع البيضاء الأنواع الأخرى التي تشغل حيزاً كبيراً، والنفايات الخطيرة.

المصادر المؤسسية للنفايات الصلبة
Institutional sources of MSW

وتنتج في المستشفيات، والمدارس، والسجون والمحابس، والمراكز الحكومية. وتشمل الأنواع ذاتها التي تنتج من المصادر التجارية.

أعمال البناء والهدم كمصدر للنفايات الصلبة المدينية
Construction and demolition sources of MSW

وتنتج في مواقع البناء الجديدة، وتهديم المباني، وإصلاح الطرق/ترميم المباني،والأرصفة المتكسرة. وتشتمل الأنواع الناتجة عن أعمال البناء والهدم على مواد البناء القياسية من مخلفات، كناسة الشوارع، والنفايات العامة للحدائق، والشواطئ، والمناطق الترفيهية، وقاذورات أحواض التصفية.

الخدمات المدينية كمصدر للنفايات الصلبة Municipal services sources of MSW

تنتج الخدمات المدينية (بإستبعاد منشآت المعالجة) النفايات الصلبة المدينية من خلال تنظيف الشوارع، وتخطيط الإراضي، والحدائق والشواطئ، والمنتجعات، ومن الأنشطة الخاصة بتنظيف احواض التصفية وصيانتها.

وتتكون من المخلفات، كناسة الشوارع، والنفايات العامة للحدائق، والشواطئ، والمنتجعات، وقاذورات أحواض التصفية

منشآت المعالجة كمصدر النفايات الصابة المدينية Treatment plant site sources of MSW

وتنتج من الماء، ومياه المخلفات، ومن عمليات المعالجة الأخرى (الترميد، على سبيل المثال). وتتكون الأنواع الرئيسية للمخلفات الناتجة من الطمى والمواد الصلبة الحيوية، والرماد المتطاير، والنفايات العامة للمنشآت.

دراسة الحالة3-22 Case Study

النفايات المشكلة – التخلص من الإطارات
Problem Wastes – Tire Disposal

يمثل التخلص من الإطارات التالفة مشكلة منذ إختراع السيارات. إن علاقة الحب التي تجمع أمريكا بالسيارات تعني أن مئات الملايين من الإطارات يُتخلص منها سنوياً. وتعج المخازن بمليارات الإطارات. بعض هذه المخازن قانوني وبعضها ليس كذلك، ولكنها كلها تواجهنا بالمشاكل ذاتها، بما فيها خطر إندلاع حرائق كارثية، وخلق بيئة مواتية لتكاثر البعوض، الذي ينقل بعضه إلتهاب الدماغ أو فيروس النيل الغربي.

في السنوات الأخيرة، لقيت الحرائق الناتجة من حرق الإطارات إهتماما وطنياً. فالنيران الناتجة من إحتراق الإطارات من الصعب جداً إخمادها. إستخدام الماء لإطفائها يتسبب في تكون طبقة طافية من الزيوت، كما يتصاعد دخان أسود سام من الإطارات المحترقة، مما يؤدي لمشكلة تلوث الهواء، والمياه السطحية، والجوفية، والتربة. ويبدو أن الردم بالتربة والرمل هو الطريقة الأكثر فعالية، والأقل كلفة لإخماد حرائق مخازن الإطارات. وعلى الرغم من ذلك فقد تنشأ مشاكل غير اعتيادية من حرائق الإطارات.

في العام 1996، بدأت حرارة احد الشوارع الرئيسية في ايلواكو، واشنطون، بالإزدياد، وبعد شهرين تكونت بقعة كبيرة من التسرب الزيتي نتيجة لحريق هائل

تحت الأرض. وفي حين احتوت فرق الاستجابة التسرب بشكل فوري، إلا أنها وجدت نفسها مرغمة أن تنتظر خمود النيران، قبل أن تفكر بطريقة للوصول الى مصدرها.

إن استخدام الإطارات المستهلكة كقاعدة تحت أرضية للطرق،هو على الأرجح أحد انجح الطرق لاعادة تدوير الإطارات،جنباً الى جنب مع إستخدام الإطارات المقطعة كوقود إضافي للغلايات (المراجل) الحديثة المزودة بأجهزة تنقية الغاز. إلا إنه وعلى الرغم من ذلك هناك فرص لحلقات اضافية من الطرق المحترقة، والتي قد تتسبب بمشاكل تلوث لجميع الأوساط البيئية، مما يعني أن مخاطر إستخدام إطارات الخردة كبيرة. وطالما أن مزيداً من الولايات قد صادقت على قوانين تحرم رمي الإطارات في مكّبات النفايات، فإن إعادة تدوير، وتخزين، وردم مخلفات الإطارات سيزداد حتى نجد طريقة سليمة لإدارة، وتخزين، ومعالجة هذه النفايات.

ومع اكتشاف فيروس النيل الغربي، ظهرت على السطح مشكلة أخرى وخطيرة للإطارات، وهي متعلقة بعمليات الشحن العالمية. في الماضي، كانت تقنيات الشحن والاعتماد على العمالة البشرية تعنى أن الأغراض التى تشحن دولياً عن طريق السفن، تمضي فترة طويلة من الزمن في الموانيء وفي الطرق. لقد قصّرت ميكنة عمليات الشحن والتفريغ، وحاويات الشحن الحديثة فترة الشحن بشكل كبير– وهو أمر ايجابي على العموم. إن التخمينات الاكثر جدية بشأن كيفية وصول الفيروس للولايات المتحدة تقترح أن السوق العالمي للاطارات المستعملة متهم محتمل: تستطيع يرقات البعوض (سواءاً كانت حاملة للعدوى أم لا) أن تعيش في الماء داخل الإطارات وتتحمّل الشحن في الحاويات– فقد أصبحت الرحلة قصيرة جداً لقتل الحشرات الناقلة للمرض. وإذا ما كان الفيروس قد وصل إلى الولايات المتحدة بهذه الطريقة أم بسواها، فإن شحن الإطارات المستخدمة يمثل خطراً معروفاً على الصّحة العامة.

ملخص الفصل

Chapter Summary

عندما نتفحص المشاكل المتعلقة بالتخلص من النفايات الصلبة، إذا كانت مدنية، أو صناعية،أو خطرة،فإن الإجابة على السؤال الذي طرحناه في مقدمة الفصل تصبح أكثر وضوحاً: عندما "نرمي النفايات" فإن النفايات تبقى. والتعامل مع النفايات بشكل دائم قد تم تاجيله فقط. في بعض الاحيان يعني هذا التأجيل أنه عندما نعود للوراء، فإننا نجد أن النفايات قد أصبحت مفيدة وغير ضارة (كما هو الحال مع النفايات ذات القابلية للتحلل الحيوي)، ولكننا في الغالب الأعم فإننا سنجد أن المشاكل التي لابد لنا ان نواجهها قد أصبحت أسوأ– وقد ازدادت بسبب الكيمياء والانتروبيا. ألم يكن من الاسهل التعامل مع تلك العبوة سعة الخمسة والخمسين جالوناً قبل أن تتسرب بفعل الصدأ.

وسط صيحات"ليس في باحتى الخلفية" و"التقط القمامة ولكن لاترمها أرضا"، فإننا نحتاج أن نستمع لأصوات أكثر واقعية، وحقيقة ألطف وأكثر تجانساً مع البيئة: *ليس ثمة شئ يدعى غذاءاً مجانياً*. إننا ندفع بطريقة أو بأخرى، مقابل ما نستحوذ عليه، أونستخدمه، سواء رأينا تكلفة الحساب أم لا. إن ثمن عاداتنا المتعلقة بالنفايات الصلبة سيخصم منا. وفي بعض الاماكن (مثل المدن الكبيرة، على سبيل المثال)، فإن الوعي بحجم الفاتورة قد بدأ يستقر في أذهان الناس.

ما الذي يعنيه ذلك على صعيد البيئة؟ بإختصار إذا مضينا نحن كمجتمع في الاستهلاك بالطريقة التي نفعل، وفي البناء كما نفعل، وفي الزراعة بالطريقة ذاتها، فإن علينا أن ندفع ثمن زيادتنا. وفي بعض الأحيان فإن ذلك يعني أن النفايات ستكون في "باحتنا الخلفية". وسيتحتم علينا زيادة كمية النفايات الصلبة التي نعيد استخدامها ونعيد تدويرها، وأن ننفق دولارات الضرائب لحل مشاكل مكّبات النفايات، ومرمدات النفايات، وأن ننظر إلى الطريقة التي نعيش بها،

والطرق التي تُعبأ بها بضائعنا، وكيف تتعامل صناعتنا مع نفاياتها– لأننا إن لم نفعل فإن الفاتورة ستكون أكبر مما في مقدورنا تحمل تكاليفه.

أسئلة ومسائل مناقشة
Discussion Questions and Problems

1. فرقّ بين القمامة، المهملات، الفضلات، والمخلفات، مستندأ على المكونّات والمصادر.
2. فرقّ بين النفايات الباقية وغير الباقية
3. لماذا يكون التخلص من النفايات القابلة للتحلل الحيوي أسهل من النفايات الغير قابلة للتحلل
4. ما هي النفايات الصلبة المدينية؟
5. ضع لائحة بمصادر النفايات الصلبة المدينية.
6. ما هو الفرق بين القمامة والنفايات؟
7. ما هو الفرق بين الفضلات والمهملات؟

مواضيع ومشاريع بحث مقترحة
Suggested Research Topics and Projects

- إجر بحثاً عن استخدام مكبات النفايات في منطقتك.
- إجر بحثاً عن ممارسات التخلص من النفايات الصلبة المدينية عبر حدود الولاية.
- تفحص ترحيل النفايات عن طريق القوارب المسطحة، والمشاكل المتعلقة بذلك.
- إجر بحثاً عن تقنية مكّبات النفايات الحالية.
- إستكشف العلاقة بين التخلص من النفايات الصلبة، وتلوث الهواء، والماء والتربة
- إستكشف مزايا وعيوب تقنيات" من مخلفات الى بخار"

- تفحص المشاكل التي يواجهها السكان المحليون في التخلص من النفايات الصلبة.
- تفحص الوسائل الحالية والمطوّرة لإعادة إستخدام واعادة تدوير النفايات الصلبة.
- تفحص النفايات الصلبة في ضوء إستعادة المصادر الطبيعية.
- إجر بحثاً عن حالات التخلص من النفايات حسب مبدأ "ليس في باحتى الخلفية".
- تنتج معظم النفايات من النواتج الثانوية للزراعة والتعدين. تفحص الوسائل الممكنة لتخفيض، أو إعادة إستخدام، أو إستعادة أجزاء من هذة النفايات.

المراجع المثبتة

Cited References

EPA. *Characterization of Municipal Solid Waste in U.S.: 1992 Update*. Washington, D.C.: EPA/530-5-92-019, 1992.

———. *Decision-Makers Guide to Solid Waste Management*. Washington, D.C.: EPA/530-SW89-072, 1989.

O'Reilly, J. T. *State & Local Government Solid Waste Management*. Deerfield, Il.: Clark, Boardman, Callahan, 1992.

Peterson, C. "Mounting Garbage Problem." *Washington Post*, April 5, 1987.

Richards, B. "Burning Issue." *Wall Street Journal*, June 16, 1988.

Spellman, F. R. *The Science of Water: Concepts and Applications*. Lancaster, Pa.: Technomic Publishing Company, 1998.

Tchobanoglous, G., H. Theisen, and S. Vigil. *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. New York: McGraw-Hill, 1993.

Tonge, P. "All That Trash." *Christian Science Monitor*, July 6, 1987.

المراجع المقترحة

Suggested References

Blumberg, L., and R. Gottlieg. *War on Waste: Can America Win Its Battle with Garbage?* Washington, D.C.: Island Press, 1989.

"Environmental Justice." *Christian Science Monitor*, March 15, 1994.

EPA. *The Solid Waste Dilemma: An Agenda for Action—Background Document*. Washington, D.C.: EPA 530-SW-88-054A, 1988.

MacKay, D., W. Y. Shiu, and K-C. Ma. *Illustrated Handbook of Physical-Chemical Properties and Environmental Fate for Organic Chemicals*. Boca Raton, Fla.: CRC Press/Lewis Publishers, 1997.

Morris, D. "As if Materials Mattered." *The Amicus Journal* 13, no. 4 (1991): 17–21.

Wolf, N., and E. Feldman. *Plastics: America's Packaging Dilemma*. Washington, D.C.: Island Press, 1990.

الفصل الثالث والعشرون

النفايات الخطرة

Hazardous Wastes

إن تلويث الهواء، والأرض، والأنهار، والبحار بمواد خطرة وقاتلة لهو العدوان الأشد خطورة من قبل الإنسان على البيئة. فالتلوث، في الغالب الأعم، يصعب التعافي منه، وسلسلة الشر التي تنشأ بسببه ليس فقط في العالم الذي يدعم الحياة، بل وأيضاً في الأنسجة الحية، وهي في الغالب الأعم، غير قابلة للانعكاس. والآن في ظل هذا التلوث العالمي، فإن المواد الكيميائية هي عناصر الشر الأقل شهرة من شريكها الاشعاع في تغيير الطبيعة الحقة للعالم،الطبيعة الحقة للحياة.

أهداف الفصل

Chapter Objectives

- التعرّف على/و مناقشة أثار كتاب الربيع الصامت لريتشل كارسون
- التعرّف على ومناقشة المشكلات المتعلقة بالنفايات الخطرة، بيئياً وإجتماعياً.
- مناقشة الولايات المتحدة بصفتها"مجتمع إرمِ بعيداً"
- تعريف ومناقشة ماهية المواد الخطرة، والنفايات الخطرة، والنفايات الأكثر خطورة، والمواد الكيميائية الخطرة والسامة.
- مناقشة تمييز قانون إستعادة المصادر والحفاظ عليها، وقانون الاستجابة البيئية الشاملة، والتعويض والمسئولية القانونية، ووكالة حماية البيئة بين المصطلحات، وكيف تؤثر تشريعاتها على الصناعة والبيئة.

- التعرّف على مناقشة المواصفات الاربعة المحددة في قانون استعادة المصادر والحفاظ عليها للمواد الخطرة.
- التعرّف على المجموعات التسعة في نظام الامم المتحدة العددي لتصنيف الأخطار.
- التعرّف على/و مناقشة إجراء خواص السُمية والرشح. وكيف يعمل.
- التعرّف على النقطة التي تصير فيها المواد الخطرة نفايات خطرة.
- التعرّف على مناقشة المجموعات الثلاث للنفايات الخطرة.
- التعرّف على المصادر الرئيسية ومولدات النفايات الخطرة.
- التعرّف على/و مناقشة بواعث القلق الرئيسية للنفايات الخطرة.
- مناقشة تأثير التشريعات المتعلقة بالنفايات الخطرة على الصناعة والبيئة
- مناقشة مناطق تشريع قانون الحفاظ على المصادر الطبيعية واستعادتها. ومتطلبات قانون الاستجابة البيئية الشاملة، التعويض والمسئولية القانونية.

خطة الفصل

Chapter Outline

- مناقشة: ريتشل كارسون و*الربيع الصامت*
- مناقشة: العادات الأمريكية في توليد النفايات وأثرها على صحة الإنسان والبيئة.
- تعريف ومناقشة: الأغراض الخطرة، والمواد الخطرة، والنفايات الخطرة، والمواد الكيميائية السامة، والمواد الكيميائية الخطرة.
- مناقشة: مواصفات قانون استعادة المصادر والحفاظ عليها الأربعة للمواد الخطرة
- تعريف ومناقشة: إجراء خواص السُمية والرشح وتراكيز السُمية.TCLP

- مناقشة: من مواد خطرة إلى نفايات خطرة، وتصنيف وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة
- مناقشة: مولدات المواد الخطرة والنفايات التي تنتجها.
- مناقشة: القلق الشعبي،والفعل الشعبي،والنفايات الخطرة.
- مناقشة ومثال: بوبال
- مناقشة: تشريعات النفايات الصلبة، وما يغطيه– قانون استعادة المصادر والحفاظ عليها ونظام من المهد إلى اللحد في الادارة، قانون الاستجابة البيئية الشاملة،التعويض والمسئولية القانونية والدعم الفائق.
- مناقشة: قانون استعادة المصادر والحفاظ عليها ومناطق الادارة الخمس للنفايات الخطرة.
- مناقشة: متطلبات قانون الاستجابة البيئية الشاملة،التعويض والمسئولية القانونية الاساسية لمعالجة مواقع قائمة الاولويات الوطنية (NPL) وقانون حق المجتمع أن يعرف .

المصطلحات الرئيسية

Key Terms

Community right-to-know act	قانون حق المجتمع ان يعرف	Commercial chemical products	المنتجات الكيميائية التجارية
corrosive	حاتّة	Control of diposal	ضبط التخلص
Extraction procedure (EP)	إجراء الاستخلاص	Emergency response	استجابة طوارئ
Hazardous and solid waste act	قانون النفايات الخطرة والصلبة	Extremely hazardous materials	الأغراض الخطرة جداً

(1984)	للعام 1984		
Hazardous material	مادة خطرة	Hazardous chemicals	الأغراض الكيميائية الخطرة
ignitability	القابلية للاحتراق	Hazardous substance	غرض خطر
Nonspecific source wastes	النفايات ذات المصادر غير المحددة	National priorities list (NPL)	قائمة الاولويات الوطنية
reactive	قابل للتفاعل	Permitting system	نظام اذونات
		،Resources conservation and recovery act (RCRA)	قانون الحفاظ على المصادر الطبيعية واستعادتها
		Superfund amendments and reauthorization act (RCRA)	قانون تعديلات واعادة تخويل سلطات الدعم الفائق
Superfund law	قانون الدعم الفائق	Specific source waste	النفايات ذات المصادر المحددة
Toxic chemical	مادة سامة	Threshold reporting quantity	كمية عتبة الابلاغ
manifest	وثيقة بيان	toxicity	السّمية

Tracking system	نظام تعقب	Toxicity characterstics leaching procedure (TCLP)	إجراء خواص السُمية والرشح
		United nations hazard class number system	نظام الأمم المتحدة العددي لتصنيف الأخطار.

مقدمة

Introduction

إستطاعت ريتشل كارسون أن تجمع بين بصيرة الشاعر وحساسيتة وواقعية وملاحظات العالم بشكل أكثر ذكاءاً من أي ممن سبقوها.إن إمرأة ذائعة الصيت وثاقبة البصيرة مثل ريتشيل كارسون التي اشتهرت (بعد إصدار كتابها الأكثر أهمية "الربيع الصامت") تم نبذها، والسخرية منها، وازدراؤها، والتقليل من شأنها، الأمر الذي يبدو غريباً بالنسبة لنا اليوم. أما بالنسبة لأولئك الأشخاص الذين كانوا مذنبين بالآثام التي كشفتها،فإنها كانت عدواً يجب نزع مصداقيته، وإسكاته. وعلى الرغم من ذلك فإنها لم تفقد مكانتها عند الذين فهموها. ولهؤلاء الأشخاص ذوو الضمير، فإن رسالتها كانت واضحة: إن النفايات إذا لم تعالج ويتعامل معها بشكل صحيح، فإنها لا تهدد حياة الإنسان على

المدى القصير فقط، بل البيئة ككل على المدى الطويل. وقد كانت مناشدتها جلية: أوقفوا تسميم الأرض.

لقد كانت المبشرة البيئية ريتشيل كارسون سابقة لعصرها بكثير، عندما نتفحصها في وضوح منظور العودة إلى الوراء. فقد تأسست المخاوف التي عبرت عنها في العام 1962 على معلومات محدودة، ولكن تمت البرهنة عليها بعد ذلك. لقد كانت ريشيل كارسون (Rachel Carson) على حق.

في هذا الفصل نناقش مخاطر المواد الخطرة، والنفايات الخطرة (والتي دفع بعضها ريشيل للكتابة). نوضح طبيعة المادة، والمشكلة، والعواقب المحتملة.

أمريكا:مجتمع رمي النفايات

America: A Throwaway society

إن الصورة الأساسية التي نوقشت ووضحت في الفصل 22، هي في الواقع صورة مصغرة للمجتمع الامريكي. تعرض الصورة وتشدد على خاصية يمكن ان تُدعى عادة، أو نزعة، أو تقليداً، أو ممارسة–ألا وهي الميل للتخلص من الأشياء التي لم نعد راغبين فيها. نحن ببساطة نرمي بها بعيداً– وبكثرة، وبشكل متكرر حتى أصبحنا ندعو أنفسنا "مجتمع أرمِ بعيداً".

عندما يفقد شيئاً ما أهميته بسبب أنه تعطّل، أو أستهلك، أو أصبح غير مساير للموضة، أو أصبح فائضاً عن حاجتنا لأي سبب، فإننا لا نشعر بأن التخلص منه هو أمر ذو بال. ولكنه كذلك في حقيقة الأمر– خصوصاً عندما يكون ذلك الشئ مادة خطرة– تستمر بالبقاء، ولا تتحلل حيوياً، وسامّة. ما مقدار

مشكلة التخلص من الأغراض/النفايات الخطرة؟ دعنا نلقي نظرة على بعض الحقائق البسيطة.

- الأغراض الخطرة – وتشمل مواد كيميائية، والنفايات السامة، والمبيدات الحشرية، والنفايات النووية – صارت تدخل إلى الأسواق، وأماكن العمل، والبيئة بكميات غير مسبوقة.
- تنتج الولايات المتحدة قرابة 300 طن متري من النفايات الخطرة سنوياً – ومقارنة بالتعداد السكاني الحاضر الذي يزيد عن 26000000، فإن هذه الكمية تمثل ما يزيد على الطن لكل فرد.
- وعبر تلوث الهواء، والتربة، وموارد المياه، فإن النفايات الخطرة تمثل خطراً على المديين القصير والطويل لصحة الانسان ولجودة البيئية.

ما هي المادة الخطرة؟ النفايات الخطرة؟

What is a Hazardous substance? A Hazardous Waste?

يمكن تعريف النفايات الصلبة بشكل غير رسمي على أنها قسم من النفايات الصلبة والسائلة والتي يتم التخلص منها برميها على الارض (ولا يتم إلقاؤها في الهواء أو الماء مباشرةً) والتي لديها القدرة الكامنة للتأثير السلبي على صحة الانسان والبيئة. نميل للتفكير بأن النفايات الخطرة تنتج أساساً من النشاطات الصناعية، إلا أن الأمور المنزلية أيضاً تؤدي دوراً في توليد الأغراض التي لا يتخلص منها بشكل مناسب وتعتبر نفايات خطرة. تلقت مشكلة النفايات اهتماماً كبيراً عبر كارثة بوبال* وحلقات الكوارث الأخرى، ولكن المفاجئ أنه لا يعرف

* كارثة بوبال: تسرب مميت لمادة صناعية حدثت في الهند عام 1984

سوى القليل جداً عن طبيعتها والنطاق الفعلي للمشكلة. في هذا الجزء نفحص تعريفات المواد، والأغراض، والنفايات الخطرة، وما شابهها، ونحاول أن نقارّب مسألة النفايات من منظورنا بإعتبارها مبعث قلق بيئي رئيسي.

للأسف فإن تعريف المادة الخطرة (hazardous substance) هو "أمر يخضع للإختيار" وذلك لأن الوكالات التنظيمية المختلفة، ونصوص التشريعات القانوية البيئية المتباينة، تعرّف هذا المصطلح والمصطلحات المرتبطة به بطرق مختلفة. فعدد من المصطلحات يستخدم بطريقة تبادلية . وحتى الخبراء المحترفين في صحة البيئة ومجالات السلامة، مثل مديرى المواد الخطرة المعتمدين يخلطون فيما بينها، على الرغم من أن هذه المصطلحات قد تولدت من وكالات فدرالية مختلفة ومن نصوص قانونية متباينة، ولديها معاني مختلفة، على حسب طبيعة المشكلة الماثلة. ولفهم نطاق المأزق الذي نواجهه في تعريف الغرض الخطر فلنلقٍ نظرة على المصطلحات المستخدمة بشكل شائع هذه الأيام، وُيظن أحياناً أنها تعني الشئ نفسه.

المواد الخطرة Hazardous Materials

المادة الخطرة (hazardous material) هي مادة (غاز،سائل،اوصلب) لديها القدرة على إلحاق الأذى بالناس، والممتلكات، والبيئة. وتستخدم مصلحة النقل بالولايات المتحدة المصطلح لتغطية تسع مجموعات معرفّة في نظام الأمم المتحدة العددي لتصنيف الأخطار، وتشمل:

- المتفجرات
- الغازات (المضغوطة، والمسالة، والمذابة)
- السوائل القابلة للاشتعال
- المواد الصلبة القابلة للاشتعال
- المؤكسدات
- المواد السامة

- المواد المشعة
- المواد الحارقة
- ومجموعة متنوعة من المواد

المواد الخطرة Hazardous Substances

يستخدم مصطلح **المادة الخطرة** (hazardous substance) من قبل وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة، للمواد الكيميائية التي ينبغي الإبلاغ عنها إذا ما أطلقت في البيئة بكميات أكبر من حد معين، وبحسب تهديدها للبيئة،يمكن للسلطات الفدرالية أن تتدخل للتعامل مع الحادثة.وتضع وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة قائمة بالأغراض الخطرة في 40 القانون الفدرالي المنظم، الجزء 302، الجدول 302.4.

وتستخدمه إدارة الصحة والسلامة المهنية (في 29 القانون الفدرالي المنظم 1910.120 (والذي نتج من العنوان القانوني 1 للعام 1986 قانون تعديلات وإعادة تخويل سلطات الدعم الفائق (SARA) وتغطي استجابة الطوارئ Emergency Response) بطريقة مختلفة عن وكالة حماية البيئة. ويغطي تعريف إدارة الصحة والسلامة المهنية كل المواد الكيميائية المنضوية تحت شعبة النقل بالولايات المتحدة، ووكالة حماية البيئة.

المواد الخطرة جداً Extremely Hazardous Substances

ويستخدم هذا المصطلح من قبل وكالة حماية البيئة للمواد الكيميائية التي يتوجب الإبلاغ عنها في حال أطلقت في البيئة بما يفوق كمية عتبة الإبلاغ (Threshold Reporting Quantity) (TQ). وقد حددت قائمة المواد الخطرة جداً في العنوان القانوني الثالث من تعديلات وإعادة تخويل سلطات الدعم الفائق (القانون الفدرالي 40 الجزء 355). ولكل مادة كمية عتبة إبلاغ.

المواد الكيميائية السامة Toxic Chemicals

تستخدم وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة مصطلح مادة كيميائية خطرة (toxic chemical) للمواد الكيميائية التي يتوجب الإبلاغ عن انبعاثتها الكلية، والكمية المطلقة منها سنوياً، من قبل مالكي، ومشغلي منشآت معينة تصنع، أو تعالج، أو تستخدم مواد كيميائية سامة مسجلة في قائمة المواد الكيميائية السامة المعرّفة في العنوان القانوني الثالث من تعديلات وإعادة تخويل سلطات الدعم الفائق.

النفايات الخطرة Hazardous wastes

تستخدم وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة مصطلح نفايات خطرة hazardous wastes لوصف المواد الكيميائية المنظمة بقانون إستعادة المصادر والحفاظ عليها (40 القانون الفدرالي– الجزء 261.33)، بينما يُنظم نقل النفايات من قبل شعبة النقل بالولايات المتحدة (49 القانون الفيدرالي المنظم الأجزاء 170-179) .

لأغـراض هـذا الفـصل فـإن مـصطلح النفايـات الخطـرة، يـشمل أي غـرض خطـر تـم تـسريبه، أوإطلاقـه فـي البيئـة. فعلـى سـبيل المثـال فـإن غـاز الكلـور هـو مـادة خطـرة. وحينمـا يـتم إطلاقـه فـي البيئـة يـصبح نفايـة خطـرة. وبالطريقـة ذاتهـا، فـإن الإسـبتوس عنـدما يكـون فـي موقعـه سـليماً، فإنـه يكـون مـادة خطـرة . ولكـن حـين ينكسر، أو يثقب، ويرمى به بعيداً، فإنه يصير نفاية خطرة.

دراسة حالة 23-1

Case Study

تسرّبات المواد الخطرة

Spills of Hazardous Materials

إن الاســتجابة الــسريعة والتــي تــم التــدرّب عليهــا جيــداً فــي حــالات الطــوارئ، أمــر ضــروري لحمايــة صــحة الانــسان والبيئــة. تمعــن العواقب السلبية المحتملة للحالة التالية:

في الساعة السادسة والنصف بعد الظهيرة يوم الاثنين 5 اكتوبر 1998، إنحرفت 16 عربة مقطورة عن مسارها في السكة الحديدية الواصلة بين بفلو وبيترسبرج، وعلى أعتاب غابة اليجاني الوطنية، بالقرب من نهر كاليرون، بجوار إيري ببنسلفانيا. فسكبت إحدى المقطورات حمولتها السامة من حمض الكبريتيك .

إحتــوى عمــال الطــوارئ التــسرب بعــد مــرور 8 ســاعات علــى حدوثــه، وتــم إغــلاق الخــزان المتــسرب بعــد ثــلاث ســاعات أخــرى. وبمجــرد أن احكــم إغــلاق الخــزان، تفــرق الحمــض الــذي كــان عالقــاً فــي شــكل ضــباب خفيــف. لــم يــتم الابــلاغ عــن أيــة إصــابات، رغــم أن مــا يقــارب المائــة شــخص مــن بورتلانــد ميلــز المجــاورة كــان قــد تــم إجلاؤهــم فــي ذلــك المــساء. أغلــق الطريــق 949 بينمــا قــام عمــال مــن شــركة هــازكوم للإصــلاحات بإنهــاء تنظيــف التــسرب. وفــي حــين قلــق العمــال مــن أن يــصل تلــوث الحمــض إلــى نهــر كلاريــون، إلا أن إنــسكاب التــسرب تــم إحتــواؤه فــي مــصرف بــين السكة والطريق. ولم يصل أي من حمض الكبيريتيك إلى النهر.

إن التخطــيط لحــالات الطــوارئ المتوقعــة، ومــن ثــم تطبيقهــا علــى المواقــف الحقيقيــة، يمنــع تعــريض الإنــسان، والبيئــة للملوثــات

والمواد السامة. وحتى لو لم يكن مصدر الطوارئ محلياً، فإن مثل هذا التدريب يؤتي أكله للمجتمع ولفائدة البيئة. تقدم هازكوم (أو في الحقيقة صحيفة بيانات سلامة المادة) إجراءات معينة تتبع في حالة التسرب الكيميائي. وفي هذه الحالة تمكن المستجيبون من تحديد الإستجابة الصحيحة، وإتباع إجراءات تخفيف الآثارالناتجة لمنع انتشار الحمض المتسرب، واحتوائه مانعين أي تلوث آخر للبيئة.

المواد الكيميائية الخطرة Hazardous chemicals

يستخدم مصطلح المواد الكيميائية الخطرة (hazardous chemicals) من قبل إدارة السلامة والصحة المهنية لوصف أي مادة كيميائية تمثل خطراً إذا ما تعرض لها أي من المُستخدمين في مكان العمل. وتشمل قائمة المواد الكيميائية الخطرة مجموعة أوسع من المركبات وأكثر من ما هو موجود في القوائم الاخرى.

مرة أخرى، ما هي المواد الخطرة؟

Again, what is a hazardous substance?

لتكوين أساس قوي لفهم الموضوع الرئيسي في هذا الفصل (النفايات الخطرة)، ولأن تعريف قانون استعادة المصادر والحفاظ عليها يمكن أيضاً أن يستخدم لوصف النفايات الخطرة، فإننا سنستخدم هذا التعريف. يعرف هذا القانون أي شئ بأنه غرض خطر، إذا كان يمتلك أي من هذه الخواص الأربع: القابلية للتفاعل، القابلية للاحتراق، الحاتية، السُمية، وبإيجاز،

- **القابلية للإحتراق** (ignitability) وتشير لقابلية الحرق وتشمل المجموعة الإشتعالية (والتي تمتلك القدرة على

الإشـــتعال إذا ماسُـــخنت لدرجـــة حـــرارة تقـــل عـــن 104 فهرنهايت أو 60درجة مئوية).

- **الحاتّـــة** (corrosive) هـــي المـــادة أو النفايـــات التـــي يمكـــن لهـــا أن تـــدمر الحاويـــات، وتلـــوث التربـــة والميـــاه الجوفيـــة، أو تتفاعـــل مـــع مـــواد أخـــرى تتـــسبب بإنبعـــاث غـــازات ســـامة. وتمثـــل المـــواد الحاتّـــة خطـــراً خاصـــاً للانـــسجة البـــشرية وللحيـــاة المائيـــة حـــين تـــصبح درجـــة الاس الهيـــدروجيني متطرفة.
- **المـــــواد القابلـــــة للتفاعـــــل (reactive)** تكـــون غيـــر مـــستقرة،أو لـــديها الميـــل للتفاعـــل، أو الإنفجـــار ،أو توليـــد ضـــغط خـــلال التعامـــل معهـــا. وتـــشمل هـــذه المجموعـــة المـــواد المتفاعلة مع الماء أو الحساسة للضغط.
- **الـــسُمية (toxicity)** وهـــي نتـــاج لتـــأثير المـــواد الخطـــرة (أو النفايـــات) التـــي تـــصل إلـــى المـــاء،أو الهـــواء، أو ترشـــح حتـــى تصل المياه الجوفية أو يتم نشرها في البيئة.

التأثيرات السُمية التي تحدث للبشر، أو الأسماك، أو للحياة البرية هي مبعث القلق الرئيسي هنا. حتى العام 1990، كانت السُمية تقاس بإختبار معملي قياسي يدعى طريقة الإستخلاص (extraction procedure) (EP). تم إستبدال هذا الإختبار عام 1990 بطريقة خواص السُمية والرشح (Toxicity Characteristics Leaching Procedure)(TCLP) لأن إجراء الإستخلاص فشل في محاكاة إنسياب الملوثات السامة إلى مياه الشرب بشكل كافي. صمم إجراء خواص السُمية والرشح ليتعرّف على النفايات التي من المرجح أن تتسبب في رشح تراكيز خطرة من المواد السامة إلى التربة أو المياه الجوفيّة كنتيجة للإدارة غير السليمة.

تستخلص طريقة خواص السّمية والرشح مكونات من النفايات المختبرة، بطريقة تحاكي مايحدث في مكّب النفايات. ثم يحلل المستخلص لتحديدما إذا كان يمتلك أياً من المكونات السامة المضمنة في القائمة الموجودة في الجدول 23-1 . وإذا فاقت تراكيز المكونات السامة المستويات المضمنة في الجدول يتم تصنيف النفايات (كخطرة).

الجدول 1.23التراكيز القصوى للملوثات في إختبار طريقة خواص السّميةوالرشح

مستوى القوانين المنظمة (ملغم/ ليتر)	الملوث
5.0	زرنيخ
100.0	باريوم
0.5	بنزين
1.0	كادميوم
0.5	رباعي كلوريد الكربون
0.03	كلوردان
100.0	كلوريد البنزين
6.0	كلوروفورم
5.0	كروم
200.0	كرسول
10.0	4,2–د (2,4 – D)
7.5	4,1–ثنائي كلوريد البنزين
0.5	5,1–ثنائي كلوريد الإيثان
0.13	4.2–ثنائي نيترو تولوين
0.02	إندرين
0.008	هبتاكلور

سداسي كلوريد البنزين	0.13
سداسي كلوريد الإيثان	3.0
رصاص	5.0
لندان	0.4
زئبق	0.2
كلوريد ميثوكسي	10.0
ميثيل إيثيل كيتون	200.0
نتروبنزين	2.0
خماسي كلوريد الفينول	100.0
بيردين	5.0
سلينيوم	1.0
فضة	5.0
رباعي كلوريد الإيثلين	0.7
توكسافين	0.5
ثلاثي كلوريد الإيثلين	0.5
2،4،5– ثلاثي كلوريد الفينول	400.0
2،4،6– ثلاثي كلوريد الفينول	2.0
5-،4.2 ت.ب (سلفكس)	1.0
كلوريد الفينايل	0.2

وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة. الدليل التوجيهي لقانون الحفاظ على المصادر الطبيعية وإستعادتها.،1990 40 القانون الفدرالي المنظم 261.24.

ماهي النفايات الخطرة؟

What is a Hazardous Waste

تذكر القاعدة الأساسية أن كل كل غرض خطر يتم تسريبه، أو إطلاقه في البيئة، يفقد تصنيفه كغرض خطر، ويصبح نفاية خطرة. تستخدم وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة التعريف نفسه للغرض الخطر والنفاية الخطرة. ويمكن إستخدام الخواص الأربعة التي ذكرناها سابقاً (القابلية للتفاعل، والقابلية للإحتراق، والحاتية، والسّمية) للتعرف على الأغراض الخطرة والنفايات الخطرة. لاحظ أن وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة تضع قائمة بالأغراض التي تعتبرها نفايات خطرة. وتحظى هذه القوائم بالأسبقية على أي طريقة أخرى تستخدم لتصنيف الأغراض والتعرّف عليها بوصفها أغراضاً خطرة (بمعنى أنه إذا وجد غرض في قوائم وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة، فإنه قانونياً يُصنف كغرض خطر، بغض النظر عن كل شئ آخر)

قوائم وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة للنفايات الخطرة EPA list of hazardous waste

نُظمت النفايات الخطرة المدرجة في قائمة وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة، في ثلاث مجموعات : النفايات ذات المصادر غير المحددة (Nonspecific Source Waste)، النفايات ذات المصادر المحددة (Specific source Wastes)، والمنتجات الكيميائية التجارية (Commercial chemical Products)، ويفترض في هذه النفايات كلها أنها خطرة، بغض النظر عن تركيزها . وقد طورت هذة القوائم من قبل وكالة حماية البيئة بعد فحص أنواع النفايات المختلفة والمركبات الكيميائية لتحديد ما إذا كانت مستوفية للمعايير التالية:

- تُظهر إحدى أو كل المواصفات الأربعة المحددة للنفايات الخطرة.

- إستوفت التعريف القانوني للنفايات الصلبة.
- حادة السّمية، أو حادة الخطورة في الواقع.
- سامة بشكل أو بآخر.

وهنا وصف موجز لهذه القوائم:

- النفايات ذات المصادر غير المحددة: النفايات العامة، التي تنتج من العمليات التصنيعية والصناعية. تشمل الأمثلة من هذه القوائم المذيبات الهالوجينية المستخدمة في إزالة الشحوم، والأوحال الناتجة من معالجة مياه الصرف الصحي الناتجة عن عمليات الطلاء الكهربائي، بالإضافة إلى مخلفات الدايوكسين، ومعظمها حادة السّمية بسبب الأخطار التي تمثلها على صحة الإنسان والبيئة.
- النفايات ذات المصادر المحددة: وتشمل النفايات الناتجة من صناعات محددة بصفة خاصة، مثل صناعة حفظ الاخشاب، ومصافي البترول، وتصنيع المواد الكيميائية العضوية. عادة ما تشمل هذه النفايات، الأوحال، والبواقي، ومياه الصرف الصحي، والمواد الحفازّة المستهلكة، والبواقي، مثل أوحال معالجة مياه الصرف الصحي الناتجة من إنتاج الأصباغ.
- المنتجات الكيميائية التجارية (وتدعى بنفايات حرفي P وU لأن أرقامها الرمزية عادة ما تبدأ بهذين الحرفين): والنفايات من نواتج كيميائية تجارية محددة، أو المركبات الكيمائية التصنيعية الوسيطة .وتشمل هذه القائمة مركبات مثل الكلوروفورم، والكريسوت، والأحماض مثل حمض الكبيريتيك، والهيدروكلوريك، والمبيدات الحشرية مثل الكيبون وال د. د. ت (40 القانون الفدرالي المنظم 261.31، و261.32، و261.33).

لاحظ أن وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة، قد حكمت أيضاً بأن أي نفايات مكونة من خليط من المواد المذكورة في القائمة، تعتبر هي الأخرى، نفايات خطرة– ويجب التعامل معها على هذا الأساس. وتنطبق هذه القاعدة بغض النظر عن النسب المئوية للخليط مادام مكونا من المواد المذكورة. وكذلك النفايات الناتجة من نفايات خطرة (مخلفات معالجة وتخزين والتخلص من النفايات المسجلة في القائمة) تعتبر ايضاً نفايات خطرة (وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة، 1990).

دراسة حالة 23-2

Case Study

المملكة المتحدة تنهي رمي الأوحال في البحر، ولكن الترميد يقلق علماء البيئة

but ،UK Ende Sea Dumping of Sludge incineration Worries Enviromentalists

أثـار قـرار إدارة شـركة ميـاه التـايمز بترميـد الأوحـال الناتجـة مـن معالجـة ميـاه الـصرف الـصحي، بـدلاً مـن رميهـا فـي البحـر، مخاوف جديدة بشأن تلوث الهواء.

تنـوي الـشركة إنهـاء ممارسـة رمـي الأوحـال فـي بحـر الـشمال بنهايـة هـذا الأسـبوع. ويـأتي هـذا القـرار بعـد مـضي مائـة عـام علـى هـذه الممارسـة إمتثـالاً لـضوابط الاتحـاد الاوربـي الأخيـرة. وسـيتبع كـل الـذين يتخلـصون مـن ميـاه الـصرف الـصحي علـى شـواطئ المملكة المتحدة القواعد نفسها.

يصر علماء البيئة على أن إنهاء رمي النفايات سيعني بحراً أنظف، ولكنهم يحذرون من أن النظام البديل بحرق المواد سينتج مشاكل صحية إضافية.

إن مشروع الترميد هذا، أوما يطلق عليه من النفايات – الى الطاقة، والذي اأطلقه دوق أدنبرة (بتكلفة 165 مليون إسترليني، أي مايقارب 275 مليون دولار) في احتفال جرى في نوفمبر، تشرين الثاني، سيتخلص من قرابة الثلاثة مليون طن من الأوحال سنوياً، ويولد بالمقابل مايكفي من الطاقة الكهربائية لحوالى 1900 منزل.

عبر مايك شايلدز المتحدّث في شوؤن التلوث لجمعية أصدقاء الأرض عن قلقه من تدهور نوعية الهواء حول المنشأتين المقامتين حول بيكتون وكروسنيس، الواقعتين على ضفاف التايمز بالقرب من بيكسلي. فقد قال "إن هذه المنطقة أُستخدمت لأغراض الصناعة وبكثافة من قبل، حيث أبانت الدراسات الصحية مستويات عالية من الأمراض التنفسية، خصوصاً، بين الاطفال. وأن هاتين المنشأتين ستزيدان فقط من مشاكل المجتمعات المحلية في أيام الهواء السيئ".

وعلى الرغم من ذلك كله، فإن إدارة مياه التايمز تقول إن المولدات بنيت بأحدث تقنيات الترشيح بحيث تخفض الإنبعاثات السامة إلى أدنى لأقل مستوى. كما تنوي الشركة أن تتابع مستوى الإنبعاثات لتضمن ألا تتجاوز التوجيهات الصحية. كما تصر الشركة أيضاً، على أن الأوحال التى ألقيت بعيداً في المحيط، محاطة بغلاف من الأسمنت الصلب، لم تمثل خطراً على المحيط ولكن الناشطين البيئتيين يصرون على

أن النفايـــات المعدنيـــة، والكيميائيـــة شـــديدة الـــسّمية تـــستطيع النفـــاذ والتـــسرب، مهـــددةً الحيـــاة البحريـــة (ووتـــر أون لايـــن: أخبـــار الـــــــــصناعة 1999/07/01 أيــــــــــان لــــــــــسك: www.wateronline.com/content/news/article.asp?docid={f6d41141-f50a-11d2-a405-00c04f4f7c39})

من أين تأتي النفايات الخطرة؟

Where Do Hazardous Waste Come From?

تـــشتق النفايـــات الخطـــرة مـــن عـــدة مـــصادر مولـــدة للنفايـــات. معظـــم هـــذه المـــصادر تـــأتي مـــن التـــصنيع والقطـــاع الـــصناعي، وتـــشمل مـــصنعي المـــواد الكيميائية،صـــناعة الطباعـــة، محـــلات صـــيانة العربـــات، ومـــصنعي المنتجـــات الجلديـــة، وصـــناعة الإنـــشاءآت، وتـــصنيع المعـــادن، وآخـــرين. وتنـــتج مولـــدات النفايـــات الـــصناعية مجموعـــة واســـعة مـــن النفايـــات، تـــشمل الأحمـــاض والقواعـــد القويـــة، والمـــذيبات المـــستهلكة، ومحاليـــل العناصـــر الثقيلـــة، والنفايـــات القابلة للإشتعال، ومخلفات السيانيد، وغيرها كثير.

لماذا نهتم بالنفايات الخطرة ؟

Why Are We Concerned about Hazardous Wastes?

مـــن وجهـــة نظـــر علمـــاء البيئـــة فـــإن أي إطـــلاق للنفايـــات الخطـــرة يتـــسبب بتغييـــر البيئـــة بأيـــة طريقـــة لهـــو مبعـــث قلـــق عظـــيم. وتكمـــن تفاصـــيل هـــذا القلـــق فـــي الـــسّمية الحـــادة، والمزمنـــة علـــى الكائنـــات الحيـــة، والتركيـــز الحيـــوي، والتـــضخيم الحيـــوي، واحتماليـــة التغييـــر الجينـــي، والتـــسبب بـــالأمراض، والمـــسارات، والتغييـــر المنـــاخي،

وتغيير المساكن الطبيعية، والانقراض، والاستمرارية، ووجهة النظر الجمالية (التأثير البصري).

تُذكر أنه عندما ينسكب غرض أو مادة خطرة أو يتم إطلاقه في البيئة، فإنها تصبح نفاية خطرة. لذا وضعت تشريعات قانونية محددة للنفايات الخطرة تتعلق بالاستجابة لحالات تسرب وانسكاب النفايات الخطرة، والتعامل السليم معها، وتخزينها، ونقلها، ومعالجتها.إن هذا التمييز مهم للغاية– والهدف هو، بالطبع، حماية البيئة–والهدف الأسمى هو حماية أنفسنا.

لماذا كل هذا الإهتمام بالأغراض والنفايات الخطرة ؟ هذا سؤال تسهل إجابته، بسبب الدروس القاسية التي تعلمناها في الماضي. إن إجابتنا تستند على التجربة–من حوادث متعلقة بالمواد الخطرة، وحوادث عرفناها،أو كنا شهوداً عليها وتسببت في عواقب مأساوية، ليس فقط للبيئة بل لحياة الانسان. تدبر المثال المذكور في دراسة الحالة3-23 من (سبلمان، 1998) فربما يقدم شرحاً أفضل لكيف أن ضبط الأغراض والنفايات الخطرة أمر بالغ الأهمية لنا جميعاً.

دراسة حالة 3-23

Case Study

يوم السوق

Market Day

أشرق اليوم ثقيلاً وحاراً، إلا أن الرياح همست في الحقول وراء المنزل المبني من الأعشاب، كما لو كانت تدندن أسراراً لنفسها. دخلت نسمة خفيفة عبر النافذة وبرفق مسّت النائمين في الداخل. لمس إصبع من الدفء المشبع برائحة الأرض الحلوة،

خد جوجو بخفة- موقظاً إياها في الصباح، كما فعل مراراً وتكراراً في سنوات حياتها السبع. في غالب الأيام إعتادت جوجو أن تستلقي على فرشة من الحصير، وتستغرق في أحلام اليقظة. مستسلمة لروعة الإستيقاظ ليوم آخرعلى أمنا الأرض. ولكن لم يكن ثمة شئ طبيعي في ذلك الصباح. كان هذا اليوم مختلفاً-ومليئاً بالمفاجآت والإثارة. كانت جوجو وأمها لانروا على وشك الإنطلاق ليوم من المغامرات- وكانت جوجو لاتقوى على الانتظار.

وبينما وقفت على حافة سريرها المتواضع، ثنت طيات القماش الرفيعة على خصرها النحيل بسرعة وتركت الباقي ينسدل حتى رجليها. وشدت شعرها الاسود في عقدة خلف عنقها قبل أن تلف الساري حول رأسها.

وبينما ارتدت جوجو ثيابها مارست لانروا الطقوس نفسها في غرفتها الصغيرة،المجاورة لغرفة جوجو، كانت هي الأخرى متشوقة لأحداث اليوم -عرفت أن جوجو متحمسة، وقد كانت سعيدة بفرحة إبنتها وحماسها. ضحكت لانروا في نفسها عندما تذكرت المرات العديدة، خلال السنوات القليلة الماضية، التي توسلت فيها جوجو حتى تصحبها إلى السوق الكبير في المدينة. تفهمت لانروا حماس إبنتها. الذهاب للمدينة ومشاهدتها كلها- والسوق أثار حماس لانروا أيضاً.

وحين خرجتا من البيت المصنوع من الأعشاب إلى الطريق الترابي،حيّتهم النسمة العطرة التي لامست خد جوجو من قبل. ومشتا يداً بيد تجاه المدينة الواقعة على بعد ثلاث كيلومترات على الجنوب.

كانـــت جوجـــو تفـــور حماســـاً، ولكنهـــا كتمـــت ذلـــك فـــي نفـــسها وأظهـــرت الوجـــه الهـــادئ، الـــصافي المتوقـــع منهـــا. ورغـــم ذلـــك فقـــد كان كل عصب في جسمها الصغير يمور بالاثارة.

وبينمـــا ســـارتا علـــى ذلـــك الطريـــق، أســـتوعبت جوجـــو، مـــاخوذة بكـــل مـــاترى، كـــل ماعبرتـــاه فـــي هـــذا التوســـع لعالمهـــا الـــصغير .النـــاس والماشـــية فـــي كـــل مكـــان- لـــم تكـــن قـــد رأت عـــدداً كبيـــراً منهمـــا مـــن قبل. لقد نما عالمها-و بشكل مفاجئ، شعرت بروعة الحياة.

وحـــين إقتربتـــا مـــن المدينة،بـــدأت جوجـــو تـــرى مبـــاني طويلـــة. ولكـــم بـــدت كبيـــرة ومثيـــرة للاهتمـــام وكثيـــرة. وفـــي المدينـــة كانـــت بعـــض الطـــرق التـــي عبرتاهـــا معبـــدة فعـــلاً. كانـــت هـــذه الرحلـــة للبلـــدة تجربتهـــا الأولـــى مـــع المدينـــة، وقـــد كانـــت مـــسحورة بكـــل المنـــاظر الغريبـــة والرائعـــة. وحـــين ســـارتا علـــى طـــول الطريـــق المـــؤدي إلـــى السوق،أحـــست جوجـــو بالرهبـــة مـــن المبـــاني الطويلـــة والمخـــازن. فيمـــا عـــساها تـــستخدم كلهـــا؟ تـــساءلت فـــي نفـــسها. كـــان لبعـــضها ألـــواح وإشـــارات علقـــت فـــوق أبوابهـــا، ولكـــن ذلـــك لـــم يجـــدِ جوجـــو نفعـــاً إذ لم تكن تستطيع القراءة.

تبـــع النـــسيم الخفيـــف جوجـــو ولانـــروا منـــذ أن فارقتـــا البيـــت وكـــان لايـــزال معهمـــا حـــين اســـتدارتا نحـــو الـــسوق، أســـتطاعت جوجـــو ان تـــرى المـــدخل وحـــشود البـــشر المنـــدفعين امامها،فبرقـــت عيناهـــا بالاثارة.

وفجـــاءة، وبـــنفس واحـــد مـــن ذلـــك الهـــواء الحلـــو (أكـــان ذلـــك نفـــس الهـــواء الحلـــو الـــذي لمـــسها حتـــى اســـتيقظت قبـــل ســـاعتين مـــن الآن؟). بـــدأت جوجـــو بالـــسعال.أمـــسكت حلقهـــا بكلتـــا يـــديها قبـــل أن تتهـــاوى علـــى ركبتيهـــا فـــي ألـــم حـــاد مفـــاجئ. كانـــت أمهـــا قـــد ســـقطت

أيـــضاً وبـــدأت تلهـث كمـــن يفـــتش عـــن الهـــواء.النـــسمة التـــى بـــدأت يومهـــا تتهيـــه الآن. وهـــي تـــأتي بـــالموت. لكـــن جوجـــو لـــم يكـــن لـــديها الـــزمن الكـــافي لـــتفهم مايحـــدث. لـــم تـــستطع أن تتـــنفس، لـــم تـــستطع فعل شئ إلا –أن تموت– وقد كان.

جوجـــو ولانـــروا وأكثـــر مـــن ألفـــين آخـــرين، مـــاتوا فـــي دقـــائق معـــدودة. وعـــدة مئـــات مـــن الـــذين مـــاتوا بعـــد ذلـــك بقليـــل فـــي يـــوم 3 مـــن شـــهر ديـــسمبر/كـــانون الأول 1984 لـــم يعرفـــوا قـــط مـــا الـــذي قـــتلهم. وكـــذلك بـــضعة آلاف مـــن القـــاطنين جـــوار الـــسوق، وقـــرب المجمـــع الـــصناعي، وقـــرب مـــصنع المبيـــدات الحـــشرية، قـــرب التـــسرب الكيميـــائي،قرب نقطـــة إنفـــلات ذلـــك الـــسم الكيميـــائي القاتـــل لـــم يعرفـــوا ســـوى القليـــل. عرفـــوا فقـــط المـــوت، والمـــرض القاتـــل فـــي ذلـــك اليوم الحزين.

أمـــا أولئـــك الـــذين نجـــوا مـــن ذلـــك اليـــوم فقـــد إخبـــروا لاحقـــاً أن مـــادة كيميائيـــــة قاتلـــــة فتكـــــت بعـــــائلاتهم، وبأصـــــدقائهم، وبجيـــــرانهم، ومعـــــارفهم. قتلـــوا بحـــادث إنـــسكاب كيميـــائي ســـيء الـــسمعة فـــي دوريـــات حـــوادث المـــواد الخطـــرة. واليـــوم تُـــدرس هـــذه الحادثـــة مـــن قبـــــل كـــــل المـــــشتغلين بالإنتـــــاج الكيميـــــائي، وعمليـــــات المناولة.ونعرفها اليوم كحادثة بوبال.

لـــم يعـــرف المـــوتى اي شـــئ عـــن الكارثـــة– وكانـــت وفـــاتهم نتيجـــة لذلك.

تشريعات النفايات الخطرة

Hazardous Waste Legislation

عدد قليل من الناس (منهم ريشيل كارسون) كان بامكانهم التنبؤ ان كارثة بحجم بوبال قد حان أوانها ولكن البشر غريبون في مناحٍ عدة. ربما نعرف أن كارثة ما ممكنة، ومحتملة، ويمكن أن تحدث، ومتوقعة. يمكن أن نتوقعها ولكن هل نتصرف؟ هل نتصرف قبل أن يموت احد ما؟ الإجابة هي لا، ليس بالدرجة الكافية. نحن لا نفكر بالعنصر الإنساني. وننسى أمثال جوجو في العالم حتى يغيبوا عن ناظرينا، بعد أن يعانوا، بعد أن يموتوا، وبعد أن يصبح ليس بمقدورنا مساعدتهم. هل هذا الأمر عادل؟ هل هو صائب؟ إذاً ما الذي نفعله حيال ذلك؟ نصدر تشريعات بالطبع .

بسبب أحداث مثل بوبال وحوادث إنسكاب كيميائي مشابه (إلا أنها أقل كارثيّة) طور الكونجرس في الولايات المتحدة (مدفوعاً باهتمام الرأي العام) وأجاز قوانين وتشريعات بيئية، لضبط الأغراض والنفايات الخطرة بالولايات المتحدة. يركز هذا الجزء على القانونين التنظمين الاكثر اهمية لادارة برامج النفايات الخطرة الحالية. الأول (وقد ذكر مراراً في متن هذا الكتاب) هو قانون الحفاظ على المصادر الطبيعية وإستعادتها (RCRA). يقدم هذا القانون توجيهات محددة للادارة العاقلة للأغراض /النفايات الخطرة الجديدة والمستقبلية. أما القانون الثانى (وقد ذكر باختصار) هو قانون الإستجابة البيئية الشاملة التعويض والمسئولية القانونية (CERCLA)، أو مايعرف بالدعم الفائق والذي يتعامل أساساً مع أخطاء الماضي: مواقع النفايات الخطرة الغير نشطة، والمهجورة.

إن قانون الحفاظ على المصادر الطبيعية وإستعادتها، هو أهم قانون منفرد للتعامل مع إدارة النفايات الخطرة. فهذا القانون وتعديله، قانون النفايات الخطرة والصلبة Hazardous and Solid Waste Act (HSWA-1984)،

يتعامل مع الإدارة الحالية للنفايات الصلبة بطول البلاد وعرضها بالتشديد على النفايات الخطرة. قانون الحفاظ على المصادر الطبيعية واستعادتها الذي يركز على جانب النفايات من المواد الخطرة، دوناً عن القضايا الأوسع التي تم التعامل معها في القوانين الأخرى، يهتم أساساً بالتخلص من النفايات الخطرة على الأرض . والهدف هو حماية مصادر المياه الجوفية، بخلق نظام إدارة "من المهد إلى اللحد" ذي ثلاثة عناصر أساسية: ونظام تعقب، نظام أذونات، ونظام ضبط التخلص.

1. نظام التعقب ترافق وثيقة بيان أي نفايات يتم نقلها من مكان إلى آخر.
2. نظام أذونات – ويساعد في تشغيل آمن للمنشآت التي تعالج، أو تخزن، أو تتخلص من النفايات الخطرة.
3. نظام ضبط التخلص– الضوابط والقيود التي تحكم التخلص من النفايات على/أو في داخل الارض.(ماسترز 1990).

ينظم قانون الحفاظ على المصادر الطبيعية وإستعادتها خمسة مناحٍ لإدارة النفايات الخطرة (بالتركيز على المعالجة، والتخزين، والتخلص منها)، وهي:

1. التعرّف على مايعتبر نفايات خطرة، وتصنيفه.
2. طباعة ونشر المتطلبات الواجبة على مولدي النفايات، بالتعريف عن أنفسهم والإعلان عن النشاطات المنتجة للنفايات الخطرة، ومعايير التشغيل القياسية.
3. تبني معايير قياسية لناقلي النفايات الخطرة.
4. تبني معايير قياسية لمنشآت معالجة، وتخزين، والتخلص من النفايات الخطرة على الأرض.
5. توفير الدعم لإنفاذ المعايير القياسية، عبر برنامج أذونات، وعقوبات قانونية للمخالفين.غريفين (1989)

ويُجادل بأن قانون الحفاظ على المصادر الطبيعية وإستعادتها هو أهم قانون منفرد للتعامل مع إدارة النفايات الخطرة وهو بالقطع أشمل النصوص القانونية الذي تعمل وكالة حماية البيئة على نشره حتى الآن.

قانون الإستجابة البيئية الشاملة، والتعويض والمسئولية القانونية

Comprehensive Environmental Response، and Liability Act،Compensation

إن رسالة هذا القانون الذي أجيز عام 1980 (ويعرف بقانون الدعم الفائق) هو تنظيف أخطاء الماضي في التخلص من النفايات الخطرة، والتصدي لحوادث الحاضر الطارئة . ويشار إليه غالباً بالدعم الفائق نتيجة لأن أهم مترتباته هي إنشاء صندوق إئتمان ضخم (ما يقارب 1.6 مليار دولار). ولاحقاً في عام 1986 وعند مراجعة هذا القانون إرتفعت قيمة الصندوق إلى قرابة ال9 مليار دولار، ويشار إلى النسخة المعدلة من القانون بقانون تعديلات وإعادة تخويل سلطات الدعم الفائق للعام 1986 (SARA). وتشمل المتطلبات الرئيسية تحت هذا القانون الآتي:

1- يخوّل قانون الإستجابة البيئية الشاملة، والتعويض والمسئولية القانونية وكالة حماية البيئة بالتعامل مع مشاكل المدى القصير (الحالات الطارئة الناتجة من إنسكاب أو اطلاق الأغراض الخطرة في البيئة)، جنباً إلى جنب مع مشاكل المدى الطويل المتعلقة بمواقع النفايات الخطرة المهجورة، أو الخارجة عن السيطرة، والتي تتطلب حلولاً أكثر ديمومة.

2- أعد قانون الإستجابة البيئية الشاملة، والتعويض والمسؤولية القانونية خطة علاجية، لتحليل تاثير التلوث على المواقع، وفق نظام لتصنيف المخاطر. ومن هذا التصنيف يتم تكوين قائمة بمواقع التلوث، والتخلص ذات الاولوية. وتعرّف هذه القائمة بقائمة الأولويات الوطنية National Priority List (NPL) عند

ترويجها. وتُعرّف هذه القائمة بالمواقع الأسوأ في القطر، استناداً إلى عوامل مثل كمية وسُمية النفايات المتعلقة، مسارات التعرض، وعدد البشر المحتمل تعرضهم، وأهمية ومدى تعرض المياه الجوفية للتلوث.

3- كذلك يلزم قانون الإستجابة البيئية الشاملة، والتعويض والمسؤولية القانونية الأطراف المسؤولة عن تسرب النفايات الخطرة بدفع الكلفة الكاملة لعميات التنظيف.

4- يلزم العنوان القانوني الثالث من هذا القانون الحكومات الفدرالية، والولائية، والمحلية،والصناعات بالعمل سوية لتطوير خطط إستجابة للطوارئ، وبالإبلاغ عن المواد الكيميائية الخطرة . ويعرف هذا الإلزام بحق المجتمع أن يعرف، والذي يسمح للعامة بالحصول على معلومات حول وجود مواد كيميائية خطرة في مجتماعتهم أو إطلاقها في البيئة.

ملخص الفصل

Chapter Summary

جعلت التطورات العلمية حياتنا أكثر راحةً، وأمناً، وصحة، وفي مناحٍ عدة، أكثر إمتاعاً. إلا أن البعض يقولون إن التقدم ليس بلا ثمن. وهذه عبارة صحيحة وعلى الرغم من ذلك فماهي التكلفة التي يشيرون إليها ؟ هل نستطيع تحمل العواقب إذا كانت التكلفة تشمل مزيداً من الحوادث مثل بوبال، شواطئ التايمز، لوف كانال، وإيكسون فالديز؟ إذا كانت مثل هذه الكوارث مضمنة في الكلفة، فيتوجب علينا القول إن التكلفة تفوق المكاسب.

مايتوجب علينا فعله للحفاظ على توازن بين التقدم التقني ونتائجه البيئية، هو استخدام التطورات التقنية بحيث يضمن أن التقدم ليس شديد الكلفة أو مهدداً للحياة للبيئة، ولأنفسنا.

في الفصل الرابع والعشرين نناقش التقنيات المستخدمة حالياً للتعامل مع، والتخلص من النفايات الخطرة بطرق تضمن أن "نتقدم"بامان.

أسئلة ومسائل مناقشة

Discussion Questions and Problems

1. مستخدماً تعبيراتك الخاصة،اكتب تعريفاً لكل المصطلحات الرئيسية في هذا الفصل. وقارن تعريفاتك بتلك الموجودة في النص، وفي ثبت المصطلحات.
2. بأي طريقة تمثل النفايات الخطرة مشكلة اجتماعية؟
3. ماهي المعالجة الحيوية ؟
4. ماهي النفايات الخطرة ؟ إشرح.
5. إشرح التعبير "مجتمع إرمِ بعيداً".
6. فرّق بين النفايات الخطرة، والأغراض الخطرة، والمواد الكيميائية الخطرة.
7. هل ينبغي للنفايات الخطرة أن تكون مضمنة في قائمة وكالة حماية البيئة لتدعى نفايات خطرة؟ وضّح.

مواضيع ومشاريع بحث مقترحة

Suggested Research Topics and Projects

الربيع الصامت

- إجر بحثاً عن السيرة الذاتية لريشيل كارسون.
- قدم تحليلاً *للربيع الصامت*.

- قدم تحليلاً للتغيرات التي حدثت في القضايا البيئية منذ الربيع الصامت.
- قدم تحليلا لأهمية *الربيع الصامت*.
- قدم تحليلاً لرد فعل الرأي العام تجاه *الربيع الصامت*.

النفايات الخطرة

- حلل واحدة من "الحوادث" الكبيرة (أمثلة: بوبال،إيكسون فالديز، لوف كانال، وحرائق آبار النفط في حرب الخليج) – التأثيرات البيئية، الإستجابة السياسية، الإستجابة المجتمعية، والتأثيرات على الصحة البشرية)
- إجر بحثاً عن المواد الإعتيادية التي تمتزج وتعطي زيادة في السّمية.
- حلل النفايات الخطرة كحافز للتغيير في وسائل الأعلام الجماهيرية– سلاحف النتجا المتحورة للمراهقين، على سبيل المثال.
- أُكتب تعريفاً موسعاً للأغراض الخطرة، أوالمواد الخطرة، أو النفايات الخطرة، أوالأغراض شديدة الخطورة، أوالمواد الكيميائية السامة، أو المواد الكيميائية الخطرة.
- إجر بحثاً عن ممارسات التخلص من النفايات في الصناعة.
- قيّم مستوى الخطر بتعرض مجتمعك لحادث خطر :أمثلة –هاريسبورج، ببنسلفانيا، وجزيرة ثري مايلز.
- حلل ماساة بوبال – ما الذي تسرب، من قتل، ومن كان مسؤولاً، وماذا كانت النتائج على المديين القصير

والطويـــل، وكيـــف غيـــرت معالجـــة بـــاقي العـــالم للنفايـــات الخطرة ؟

- من يتصدر قائمة الأولويات الوطنية، ولماذا ؟
- كيـــف أثـــر قـــانون الحفـــاظ علـــى المـــصادر الطبيعيـــة واســـتعادتها و/أو قـــانون الإســـتجابة البيئيـــة الـــشاملة، والتعـــويض والمـــسئولية القانونيـــة علـــى الـــصناعة فـــي منطقتك ؟

المراجع المثبتة

Cited References

Carson, R. *Silent Spring*. Boston: Houghton Mifflin, 1962.
DOT 49 CFR—170-179, U.S. Department of Transportation.
EPA. *RCRA Orientation Manual*. Washington, D.C.: EPA, 1990.
40 CFR 261.24.
40 CFR 261.31, .32, .33.
40 CFR 264.1.
40 CFR 264.52b.
40 CFR 302.4.
Griffin, R. D. *Principles of Hazardous Materials Management*. Chelsea, Mich.: Lewis Publishers, 1989.
Masters, G. M. *Introduction to Environmental Engineering and Science*. New York: Prentice Hall, 1991.
RCRA. *Hazardous and Solid Wastes Act*, Public Law 98-616, amendments PL 94-580 (42 USC 6901), 1984.
SARA (CERCLA). *Superfund Amendments & Reauthorization Act* (1986) Public Law 99-499, (Amended 142 USC 9601, 1980).
Spellman, F. R. *Surviving an OSHA Audit: A Manager's Guide*. Lancaster, Pa.: Technomic Publishing Company, 1998.

المراجع المقترحة

Suggested References

Blackman, W. C. *Basic Hazardous Waste Management*. Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers, 1993.
Coleman, R. J., and K. H. Williams. *Hazardous Materials Dictionary*. Lancaster, Pa.: Technomic Publishing Company, 1988.
Kharbanda, O. P., and E. A. Stallworthy. *Waste Management*. UK: Grower, 1990.
Knowles, P-C., ed. *Fundamentals of Environmental Science and Technology*. Rockville, Md.: Government Institutes, Inc., 1992.
Lindgren, G. F. *Managing Industrial Hazardous Waste: A Practical Handbook*. Chelsea, Mich.: Lewis Publishers, 1989.
Portney, P. R., ed. *Public Policies for Environmental Protection*. Washington, D.C.: Resources for the Future, 1993.
Wentz, C.A. *Hazardous Waste Management*. New York: McGraw-Hill, 1989.

الفصل الرابع والعشرون

تقانة التحكم بالنفايات

Waste Control Technology

تحتل قضية كيفية التعامل مع نفايات المجتمع الكيميائية السامة قمة القضايا البيئية، في معظم البلدان الصناعية. ومن دون تنسيق الجهود لتخفيض، وإعادة تدوير، وإعادة إستخدام المزيد من النفايات الصناعية، فإن الكميات المنتجة ستفوق قدرة حتى أفضل أنظمة المعالجة والتخلص.

–ساندرا بوستل 1987، 37

أهداف الفصل

Chapter Objectives

بعد دراسة هذا الفصل ينبغي أن تكون قادراً على:

- التعرف على، ومناقشة العواقب المترتبة على هرمية قانون الحفاظ على المصادر الطبيعية وإستعادتها لإدارة النفايات.
- التعرف على، وتصنيف، ومناقشة طرق تقليل النفايات، ويشمل ذلك إستبدال المدخلات، وتعديلات العملية، وممارسات التشغيل الجيدة.
- مناقشة مزايا، وعيوب إعادة التدوير وإستعادة المواد، أو الطاقة من تيار النفايات.
- التعرّف على وصف، ومناقشة تقانات المعالجة وفعاليتها، ويشمل ذلك المعالجة الحيوية، والعمليات الحرارية، وإمتزاز الكربون المنشط، وتقانات الإستعادة عن طريق التحليل الكهربائي، وتعرية الهواء، والتثبيت والتصلب، والترشيح والفصل.
- التعرّف على وصف، ومناقشة الحلول النهائية للتخلص من النفايات الخطرة، مزاياها وعيوبها، ويشمل ذلك حقن الآبار العميقة، والمحتجزات السطحية، وأكوام النفايات، ومكّبات النفايات.

خطة الفصل
Chapter Outline

- مناقشة : مأزق التخلص من النفايات الخطرة في الولايات المتحدة – وهرمية قانون الحفاظ على المصادر الطبيعية وإستعادتها .
- مناقشة وتعريف: تقليل النفايات وجرد العمليات الكيميائية.
- مناقشة: تقانات تقليل النفايات – إستبدال المدخلات، وتعديلات العملية، وممارسات التشغيل الجيدة.
- مناقشة: إعادة تدوير النفايات الصناعية والطاقة.
- مناقشة وتعريف: تقانات المعالجة– المعالجة الحيوية، والعمليات الحرارية، إمتزازالكربون المنشط، تقانات الإستعادة عن طريق التحليل الكهربائي، تعرية الهواء، والتثبيت والتصلب، والترشيح والفصل.
- مناقشة وتعريف: تقانات التخلص الأرضي الدائمة– حقن الآبار العميقة، المحتجزات السطحية، أكوام النفايات، ومكّبات النفايات .

المصطلحات الرئيسية
Key Terms

Henry's law	قانون هنري	absorption	الإمتصاص
Incineration	الترميد	adsorption	الإمتصاص
oxidation-reduction	اكسدة واختزال	aerobic processes	العمليات الهوائية
recycle	إعادة تدوير	air stripping	تعرية الهواء

sanitary landfill	مكّب نفايات صحي	anaerobic processes	العمليات اللاهوائية
secure landfill	مكّب نفايات آمن	biological treatment processes	عمليات المعالجة الحيوية
Clarification	الترشيح بالإبانة	separation	جرد/مسح العمليات الكيميائية الفصل
deep well injection	حقن الآبار العميقة	solidification	التصلب
detoxification	إزالة السّمية	sorption	الإمتزاز
dewatering	نزح المياه	stabilization	التثبيت
electrolytic recovery technique	تقانات الإستعادة عن طريق التحليل الكهربائي	still bottoms	البواقي
fermentation	التخمير	stripping	التعرية
filtration	الترشيح	surface impoundments	المحتجزات السطحية
waste piles	أكوام النفايات	thermal treatment processes	عمليات المعالجة الحرارية
flexible –	غشاء البطانة	waste	تقليل النفايات

membrane liner (FML)	المرن	minimization	
		hazardous and solid waste amendments (HSWA)	تعديلات قانون النفايات الخطرة والصلبة

مـقدمـــة
Introduction

أن أحدى أكثر القضايا التي تواجه علماء البيئة حالياً، إلحاحاً وتحديا، (وعدداً من غيرهم،) هي ما الذي ينبغي علينا فعله إزاء كل النفايات الصلبة والخطرة، التي تنتجها مجتمعات إرمِ بعيداً. وبتعبيرات بسيطة يجب علينا التغير من مجتمع إرمِ بعيداً إلى مجتمع إعادة تدوير، وهو الأمر الذي من شأنه إعادة المكسب إلى مستوياتنا المعيشية. وبإمكاننا القول ايضاً إنه مادام التخلص من النفايات الخطرة مكلفاً جداً ومحفوفاً بالمخاطر، ولجعل الوضع أفضل، فإن علينا إتباع هرمية قانون الحفاظ على المصادر الطبيعية وإستعادتها لإدارة النفايات،(وبترتيب تنازلي من حيث المرغوبية).(1) وقف إنتاج النفايات في المقام الاول ;(2) فإن لم نستطع وقف إنتاجها، فلننتج فقط الحد الأدنى من الكميات ;(3) إعادة تدويرها ;(4) وإذا كان من الواجب إنتاجها ولا توجد طريقة لإعادة تدويرها، فلنعالجها؛ (5) وإذا لم تكن هناك طريقة لجعلها غير خطرة، فلنتخلص منها بطريقة آمنة؛ (6) وبمجرد تخلصنا منها، فلنراقبها بشكل مستمر، لنتأكد من عدم وجود آثار ضارة بالبيئة.

لكل هذه العبارات إمتيازها، والسؤال هل هي واقعية؟ لدرجة معينة نعم. لقد طوّرنا إستراتيجيات مختلفة لكبح جماح إنتشار الأغراض والنفايات الخطرة. إحدى هذه المقاربات هي معالجتها، بحيث نُحيّدها لتصبح أقل سُمية. وعلى الرغم من ذلك فان الإستراتيجية الأفضل هي تقليل، أو عدم إستخدام الأغراض

الخطرة، وتقليل أو عدم توليد النفايات الخطرة. ولدرجة ما،يمكننا إنجاز هذا، ولكن إذا فكرنا،أنه يمكننا ببساطة التخلص من كل المواد الخطرة، والعمليات التي تستخدم وتولد المواد الخطرة، في الوقت الراهن، فهذا تفكير حالم.

ما نحتاج ان نفعله هو أن نصقل برامج تخفيض النفايات قدر الإمكان، وأن نطور تقانات تعالج بشكل أفضل، النفايات التي لانستطيع إستبدالها، أو التخلص منها،أو أن نخفضها. لدينا مثل هذه التقانات والممارسات اليوم. يمكن لعلم البيئة والتقانة أن يعملا سوياً لتطوير وإستخدام إجراءات وممارسات يتم من خلالها تقليل النفايات الكيميائية الخطرة، وإعادة تدويرها، ومعالجتها والتخلص منها. نراجع في هذا الفصل هذه الإجراءات، والممارسات، والتقانات.

تقليل النفايات

Waste Minimization

تقليل النفايات (waste minimization) (أو إجراءات تقليل المصدر (source reduction measures)، يتم إنجازه بعدة طرق، وتشمل المواد الخام، واستبدال المدخلات، وتعديل المعالجات، وممارسات التشغيل الجيدة. لاحظ أنه قبل تنفيذ أي إجراء لتقليل المصدر، لابد من تجميع كمية مقدرة من المعلومات.

إحدى أولى الخطوات التي يجب اتخاذها في تجميع المعلومات، هي التحديد الدقيق لطبيعة النفايات المنتجة. لابد في البدء من توصيف النفايات، وتصنيفها في مجموعات حسب النوع، والمكوّنات، والكمية، وهي مهمة يتم إنجازها بإجراء جرد للعملية الكيميائية (chemical process audit) ، أو مسح (survey) لها. يذكر أنه خلال هذا المسح لتجميع المعلومات، فإن من المهم التدقيق في البحث عن مدخلات غير مستوفية للمواصفات، ومواد خام من شأنها أن تنتج

مخرجات معيبة، أو أي تلوث عرضي للمدخلات، مواد المعالجة الكيميائية، أو المخرجات، وأي مواد كيميائية تالفة (والتي ينبغي التخلص منها بشكل ملائم).

كما ينبغي خلال هذا المسح، أن نولي إهتماماً خاصاً للمناطق الشائكة إنتاج كمية كبيرة من النفايات في الوحدة الإنتاجية، أو عطب زائد في المعالجات، أو نوعية سيئة من المنتجات، أو إستخدام متكرر لمدخلات غير مستوفية للمواصفات. كما يجب فحص تأثير متغيرات المعالجة على تيار النفايات الناتج، وعلاقة مكونات تيار النفايات بالمواد الكيميائية المدخلة وطرق المعالجة. وعلى سبيل المثال، أن نحدد بدقة كمية الماء المستخدمة في المعالجة. وهل من الممكن تقليلها؟ إن أسئلة مثل هذه ينبغي مواجهتها اثناء مسح المعالجات الكيميائية (Lindgren، 1989).

ولتحديد إمكانية إعادة الإستخدام، أو إعادة التدوير، أو إستعادة المواد، أو نقل النفايات، أو الطرق السليمة للتخلص من النفايات، لابد من التحديد الدقيق لطبيعة النفايات. ويتم هذا عن طريق أخذ عينات من تيار النفايات، وتحليلها في المعمل، تعطينا طبيعة النفايات معلومات قيمة عن العمليات التصنيعية، وحالة المعدات المستخدمة في المعالجة.

إستبدال المدخلات Substitution of Inputs

بعد إكمال المسح، فإن المعلومات المجمعة قد تقترح، أو تبرر إستبدال بعض المواد الكيميائية، أو مواد المعالجة، أو المواد الخام، وذلك لتمكننا من تقليل حجم نفايات المعالجة أو توقف إنتاجها.لاحظ إن إستبدال المدخلات غالباً مايصعب فصله من تعديلات العملية.

- تشمل الأمثلة القليلة الممكنة لإستبدال المدخلات;

- إســـتخدام المبـــردات المـــصنعة بـــدلاً مـــن مبـــردات الزيـــوت المستحلبة;
- إســـتخدام الطـــلاءات المائيـــة بـــدلاً مـــن الطـــلاءات المعتمـــدة على المذيبات;
- إســـتخدام تحاليـــل الطـــلاء الكهربـــائي غيـــر المـــستندة علـــى السيانيد ; و
- إستخدام مرشحات الخزنة[8] بدلا المرشح الأرضي.

تعديلات العملية Process modifications

أحـــد أهـــم الفوائـــد المـــشتقة مـــن إجـــراء جـــرد للمعالجـــات الكيميائيـــة أو مـــسحها، هـــي أن المـــسح عـــادة مـــا يـــشيرالى، أو يقتـــرح تعـــديلات علـــى أنظمـــة الإنتـــاج بحيـــث تقلـــل إنتـــاج تيـــار النفايـــات الخطـــرة. فأينمـــا كـــان بالإمكـــان جعـــل المعالجـــة الكيميائيـــة أكثـــر كفـــاءة، كانـــت النتيجة تقليل حجم وسُمية البقايا.

ممارسات التشغيل الجيدة Good operating practices

إن تقليل النفايات، ومنع الإطلاق غير المقصود للمواد الكيميائية، وزيادة عمر مواد المعالجة الكيميائية، كلها مرتبطة مباشرة بممارسات التشغيل الجيدة (Good Operating Practices). الضمان لممارسات تشغيل جيدة من قبل العمال، يتم إنجازه، فقط، عبر التدريب الفعال لهم. يجب ان يحتوي هذا

---

[8] ويُعـــرف أيـــضاً بمرشـــح الـــدايتوم الأرضـــي، نـــسبة إلـــى اســـتخدام مـــادة تُستخلص من البقايا الأحفورية للدايتومات.

التدريب، ليس فقط على ممارسات التشغيل الصحيحة، بل والتدرّب على الإستجابة الفعالة للإنسكاب.

إعادة التدوير Recycling

لقد تم تطوير العديد من الإستراتيجيات لإعادة تدوير (ومن ثم تقليل) حجم النفايات الخطرة، التي ينبغي التخلص منها. تستعيد هذه الاستراتيجيات، أو لعيد تدوير المصادر، التي تكون إما مواد أو طاقة، من تيار النفايات. النقطة الأساسية الواجب ملاحظتها في إعادة التدوير عبر المعالجة الكيميائية، هي أن المنتج لابد من أن يخضع لبعض المعالجة قبل إعادة الإستخدام. تشمل النفايات التي تعرّف بامتلاكها مكونات ذات قيمة محتملة:

- السوائل القابلة للإشتعال والإحتراق
- الزيوت
- الخبث والأوحال
- مخلفات المعادن الثمينة
- العوامل الحفازة
- الأحماض
- المذيبات

من القائمة أعلاه، يمكن أن نرى أن أحد جهود إعادة التدوير والإستعادة تشمل إستخلاص المذيبات العضوية. وهو أمر يُنجز عادة عبر تقانات تقطير عالية الفعالية، حيث تُسخن المذيبات الملوثة بالمعادن والمواد العضوية، لتنتج طوراً بخارياً وطوراً سائلاً. تتصاعد المواد الخفيفة والمتطايرة إلى أعلى الطور السائل، وتبدأ بالتبخر. وعن طريق التحكم بعناية في

درجـــة حـــرارة خلـــيط النفايـــات، يمكننـــا أن نبخـــر المـــادة المرغوبـــة ثـــم نستعيدها بالتكثيف، تاركين الملوثات الثقيلة وراءنا.

يشار إلى الخليط المتبقي المركز، عالى السُمية (والذي قُلّص حجمه) بالبواقي (still bottoms). يمكن للبواقي أن تحتوي على معادن قابلة للإستخدام، ومذيبات أخرى. وكلما تطورت تقانة التقطير،فإن المزيد من مواد البواقي سيستعاد، ويصير من الممكن إعادة إستخدامه.

تقانات المعالجة

Treatment Technologies

بسبب تعديلات قانون الحفاظ على المصادر الطبيعية واستعادتها في العامين 1984 و1991، فإن النفايات الخطرة، لابد من أن تخضع للمعالجة قبل أن يُتخلص منها بشكل نهائي في مكّب النفايات. حتى بعد تعديلات المعالجة، وإستبدال المواد الخام، وإعادة التدوير، فإن بعض أجزاء تيار النفايات تظل خطرة ويجب إحتواؤها بشكل ملائم. تتطلب هذه المكونات الخطرة معالجة إضافية. وتتم هذه المعالجة في أوعية (أحواض)، أو مفاعلات، أو مُرّمدات، أو أفران، أو مراجل، أو مُحتجزات سطحية.

فـــي الوقـــت الحاضـــر، تتـــوفر عـــدة تقانـــات لمعالجـــة تيـــار النفايـــات الخطـــرة . وفـــي هـــذا الجـــزء، ننـــاقش أمثلـــة قليلـــة، تـــشمل المعالجـــة الحيويـــة، والمعالجـــة الحراريـــة، وإمتـــزاز الكربـــون المنـــشط، وتعريـــة الهـــواء، والتثبيـــت والتـــصلب، وأنظمـــة المعالجـــة عـــن طريـــق الرشـــح والفصل.

ملحوظـــة: تمـــت تغطيـــة بعـــض هـــذه التقانـــات بتفاصـــيل أكثـــر فـــي الأجـــزاء الـــسابقة، علـــى ســـبيل المثـــال معالجـــة تلـــوث التربـــة الموضـــعي وغيـــر الموضـــعي، تـــضم بعـــض هـــذه التقانـــات إثنـــين أوأكثر من هذه التقانات الأساسية.

المعالجة الحيوية Biological Treatment

تتوفر عدة عمليات للمعالجة الحيوية (Biological Treatment) لمعالجة تيار النفايات الخطرة " السائل" (تصعب معالجة التربة الملوثة والمواد الصلبة) وتشمل الأوحال المنشطة، والبحيرات الضحلة الهوائية، والبحيرات الضحلة اللاهوائية، وري الرشّاش، ومرشحات التنقيط، وبرك تثبيت النفايات. وتتعلق هذه العمليات بالمعالجة الحيوية لمياه الصرف الصحي الصناعية والمدينية، وتستخدم عادة لمعالجة الملوثات العضوية. وهي عموماً، فعالة ضد مياه الصرف الصحي ذات التركيز المنخفض، أو المتوسط من المركبات العضوية البسيطة، والتركيز المنخفض من المركبات العضوية المعقدة، وغير فعالة ضد المكونات المعدنية، والعناصر الثقيلة.

تتطلب المعالجة الحيوية للمواد العضوية السامة ضبط تشغيل أكثر تعقيداً (تشمل معالجة قبلية) أكثر من ذلك الذي تحتاجة مياه الصرف الصحي غير السامة. يمكن للكائنات الحية الدقيقة المستخدمة في المعالجة الحيوية أن تموت بسهولة بسبب زيادة سريعة في التغذية.كما يتطلب التأقلم وتطوير تعداد فاعل من الكائنات الحية مدة مقدرة من الزمن، ويظل النظام عرضة للتعطل بإستمرار (بلاكمان 1993).

إن الطرائق الحيوية المستخدمة في معالجة النفايات السامة هي الطرائق الهوائية (المعالجة في وجود الاوكسجين – التهوية التقليدية) والطرائق اللاهوائية (المعالجة في غياب الاوكسجين – في حوض التخمير البسيط).

في المعالجة الهوائية، تحتاج الأحياء الدقيقة إلى شيئين، مصدر للطاقة ومصدر للكربون، حتى تنمو، وكلاهما يؤثران على نوع الأحياء الدقيقة التي تنمو في بيئة معينة. يلبي عدد من نفايات الصرف الصحي الخطرة كلا من هذين المطلبين الأساسين، وفي حال توفر المواد الغذائية المناسبة،فإن من الممكن إبقاء تعدادٍ عضوي مزدهر بغرض معالجة النفايات. وتحت هذه

الظروف، وإذا ماتم التحكم في الأس الهيدروجيني ودرجة الحرارة، فإن من الممكن إزالة المواد المُسمّة بالنسبة للكائنات النشطة. إن أهم منحى يحد من قابلية تطبيق المعالجة الحيوية على النفايات الخطرة، هو قابليتها للتحلل الحيوي- أي تحولها عبر عمليات حيوية إلى جزيئات غير عضوية ومواد حيوية. إن قابلية نوع معين من النفايات للتحلل الحيوي تعتمد تماماً على النظام، وعلى توفر الظروف الملائمة للمعالجة الناجحة (إزالة السُمية (Detoxification)، أو التحويل الحيوي لمادة سامة إلى أخرى أقل سمية) والتي ينبغي الحفاظ عليها لتشجيع نمو الخليط الملائم من الاحياء الدقيقة.

مورست المعالجة الحيوية اللاهوائية لعدد من نفايات الصرف الصحي السامة بنجاح. وهذا النوع من المعالجة، هو، في الأساس، نوع من عمليات التخمير تتم فيها أكسدة وإختزال النفايات العضوية.

العمليات الحرارية Thermal processes

تستخدم عمليات المعالجة الحرارية thermal treatment processes (الترميد Incineration) بشكل عام لتعالج كلا من السوائل والمواد الصلبة، إما لتدمير المكونات الخطرة، أو لتمكننا من التخلص من بقايا المعالجة، أو النفايات المعالجة في مكّب للنفايات مصدق عليه من وكالة حماية البيئة.

في أثناء الترميد، تحرق المواد الكربونية (العضوية) في درجات حرارة عالية- تتراوح عادة من 1500- إلى 3000 درجة فهرنهايت لتفكيكها، بشكل أساسي لهيدروجين، وكربون، وكبريت، ونتروجين، وكلور. تتحد هذه العناصر المكونة،بعد ذلك، مع الأكسجين لتعطي غازات غير عضوية، مثل بخار الماء، وثاني أوكسيد الكربون، وأوكسيدات النيتروجين. وبعد الإحتراق، تمر الغازات عبر نظام لضبط التلوث لإزالة الغازات الحمضية، والمواد الدقائقية قبل أن تطلق في الجو. لترميد

النفايـــات الخطـــرة فوائـــد ذات شـــقين: فهـــي تقلـــل أو تـــتخلص مـــن صـــفة الخطـــورة فـــي النفايـــات، وتخفض،بـــشكل كبيـــر، مـــن حجـــم النفايات المتخلص منها.

تحـــدد مواصـــفات النفايـــات ومتطلبـــات المعالجـــة تـــصميم المُرّمـــد بحيـــث يـــستقبل النفايـــات الـــصلبة أو الـــسائلة. تعتبـــر الحـــرارة، والإضـــطراب، وفتـــرة الإســـتبقاء، هـــي العوامـــل الرئيـــسية التـــي تحـــدد تـــصميم معالجـــة الترميـــد لكـــل مـــن النفايـــات الـــصلبة والـــسائلة. تـــنظم مرّمـــدات النفايـــات الخطـــرة مـــن قبـــل وكالـــة حمايـــة البيئـــة، وتتطلـــب إذنـــا ً للتـــشغيل. وللحـــصول علـــى إذن التـــشغيل، فـــإن منـــشأة الترميـــد لابـــد أن تظهـــر فعاليـــة تـــدمير وإزالـــة بنـــسبة 99.99% لكـــل مكـــون عضوي خطر رئيسي في المادة الخام.

تـــشمل العمليـــات الحراريـــة غيـــر الموضـــعية (المُرّمـــدات بـــشكل رئيـــسي) تـــصميمات مثـــل حقـــن الـــسوائل، والمراجـــل، والأفـــران الـــدوارة، والقيعـــان المميعـــة[9]،والمـــواد الحفـــازة. أمـــا الانـــواع الأكثـــر تعقيـــداً، والأقـــل شـــيوعاً مـــن أنظمـــة المعالجـــة الحراريـــة، فتـــشمل الأكـــسدة الرطبـــة، وعمليـــات التفحـــيم، وعمليـــات البلازمـــا. ويمكـــن لبعـــضها أن يجـــري موضـــعياً مثـــل – حقـــن البخـــار، والتـــسخين عـــن طريـــق تـــرددات الراديـــو، وعمليـــات التـــزجيج (معالجـــة الزجـــاج المصهور).

---

[9] تقنيـــة تعتمـــد علـــى تكـــوين مـــزيج مـــن المـــواد الـــصلبة والـــسائلة، بحيـــث تكتـــسب صـــفات الـــسوائل وتمتـــاز بتقليـــل إنتـــاج غـــازات أوكـــسيد النتـــروجين، والكبريـــت وبمرونة أكثر في الوقود.

إمتزاز الكربون المنشط Activated Carbon Sorption

يمكن ازالة المواد العضوية من تيار النفايات الخطرة بالكربون المنشط (activated carbon) وذلك عن طريق الإمتزاز (sorption). والإمتزاز هو نقل مادة من طور سائل إلى طور صلب. في الإمتصاص (تفاعل كيمائي نهائي يكوّن وحل أسمنتي مترسب، لاينبغي خلطه مع الإمتصاص absorption، والذي يعرف كعملية فيزيائية لا تثبت مواد النفايات كيميائياً)، تتم إزالة المواد الكيميائية من تيار النفايات على قالب شبكي من الكربون . يمكن إستخدام الكربون في شكل حبيبات أو بودرة، بحسب التطبيق.

تتناسب فعالية الكربون المنشط في إزالة المكونات الخطرة من تيار النفايات بشكل مباشر مع مساحة سطح الكربون المنشط، وفي بعض الحالات يكون كافياً للمعالجة الكاملة. كما يمكن تطبيقها كمعالجة قبلية لتيار النفايات الخطرة قبل معالجة المتابعة. إن إمتزاز الكربون المنشط يكون أكثر ما يكون فعالية في إزالة مواد النفايات غير القابلة للذوبان في الماء، من الماء.

تقانات الإستعادة عن طريق التحليل الكهربائي
Electrolytic Recovery

تستند تقانات الاستعادة عن طريق التحليل الكهربائي (electrolytic recovery technique) (التي تستخدم أساساً لإستعادة المعادن من تيار العملية، أو لتنظيف مياه العملية،أو لمعالجة مياه الصرف الصحي قبل تفريغها) على تفاعل أكسدة وإختزال (oxidation-reduction)، حيث يستخدم سطح القطب السالب لتجميع المعادن من تيار النفايات. وفي العادة يتكون نظام الإستعادة عن طريق التحليل الكهربائي من وعاء معالجة (حاوية،الخ) موصولة بأقطاب كهربائية، ومصدر للطاقة الكهربائية، ونظام للتعامل مع، ومعالجة

الغاز. يجب إزالة المعادن المستعادة من القطب السالب بشكل دوري حين يتم الحصول على السماكة المصممة من المعدن المستعاد.

تعرية الهواء

Air stripping

رغماً عن أنها ليست فعّالة بشكل خاص،فقد أُستخدمت تقانة تعرية الهواء لإزالة المكوّنات الخطرة من تيار النفايات، لعدد من السنوات. التعرية هي وسيلة لفصل المكونات الطيّارة من تلك الأقل تطايراً في مزيج سائل، وذلك بفصل المواد الأكثر تطايراً إلى طورغازي من هواء أو بخار. غالباً مايكون الغاز المتحرك في تعرية الهواء، هو الهواء المحيط، والذي يستخدم لإزالة المواد العضوية الذائبة المتطيّرة من السوائل، ويشمل ذلك المياه الجوفية ومياه الصرف الصحي. كما يجب تطبيق معالجة إضافية للأبخرة الناتجة لتدمير و/أو قبض المواد المتطايرة المفصولة. وتُدفع هذه العملية عن طريق فرق التركيز بين الهواء والطور السائل للإتزان لجزئيات معينة، وحسب قانون هنري(Henry's law)، الذي ينص على أنه وفي درجة حرارة ثابتة، فإن وزن الغاز الممتص من حجم معطى من السائل يتناسب طردياً مع الضغط الذي يٌمد به الغاز.

التثبيت والتصلّب Stabilization and solidification

التثبيت stabilization والتصلّب solidification هما تقنيتان تستخدمان لتحويل النفايات الخطرة من شكلها الأولي إلى مادة أكثر ثباتاً، من الناحية الفيزيائية والكيميائية. ويتم هذا عن طريق تقليل حركية المركبات الخطرة في النفايات، قبل التخلص منها على الأرض، ويعتبر التثبيت والتصلّب مفيدين

بشكل خاص حين تكون إستعادة، أو إزالة،أو تحويل المكونات الخطرة (كما هو مطلوب في قانون الحفاظ على المصادر الطبيعية وإستعادتها) من النفايات قبل التخلص منها في مكّبات النفايات غير ممكنة.

تستخدم مجموعة من عمليات المعالجة عن طريق التثبيت والتصلّب إسمنت بورتلاند كعامل ربط . وتستطيع تكوين مركبات النفايات/الأسمنت بحيث تكون لديها قوة كبيرة وقدرة ممتازة على التحمل، وتحتفظ بالنفايات بطريقة فعالة (بلاكمان 1993).

تُحسّن عمليات المعالجة بالتثبيت والتصلب الخواص الفيزيائية، وتسهل التعامل مع النفايات، كما تقلل من ذوبانية أو تحدّ من رشح المكونات الخطرة.

الترشيح والفصل Filtration and Separation

الترشيح (filtration) والفصل (separation) هما عمليتان فيزيائيتان. الترشيح (فصل الجزئيات الصلبة من تيار سائل عبر إستخدام وسط شبه مسامي) مدفوعاً بفرق الضغط عبر الوسط . وينتج هذا الفرق في الضغط بسبب الجاذبية، أو قوى الطرد المركزي، أوالفراغ، أو الضغط المرتفع.

ويقع الترشيح الذي يطبق في معالجة النفايات الخطرة في مجموعتين الإبانة (clarification) ونزح الماء (dewatering). وتتم **الابانة** عندما توضع سوائل ذات تراكيز أقل من 200 جزء من المليون في مرشح إبانة ويسمح للمواد الصلبة بالترسب، مما يعطي صبيباً (دفقاً خارجاً) أكثر نقاءاً. يطبق نزح الماء على المِلاط والاوحال . وهدف نزح الماء هو

تركيـز المـواد الـصلبة فـي شـكل شـبه صـلب للمعالجـة اللاحقـة، أو التخلص الأرضي

التخلص النهائي Ultimate disposal

معظمنـا يعـرف جيـداً مقالـب النفايـات المفتوحـة.ومـع ذلـك فمعظمنـا لايعـرف بعـض ممارسـات الـتخلص مـن النفايـات التـي حـدثت نتيجـة التـشريعات البيئيـة لعقـد الـسبيعينيات، التـي فرضـت قيـوداً متزايـدة علـى إطلاقهـا فـى الجـو أو ممـرات الميـاه الوطنيـة. فلحمايـة جوّنـا وممـرات مياهنـا، قادتنـا عقليـة الـسبعينيات إلـى الـتخلص مـن النفايـات الخطـرة فـي مقالـب نفايـات مفتوحـة. فقـد كـان يظـن أن الـتخلص مـن النفايـات علـى الأرض أكثـر أمانـاً وملاءمة.

نعلـم الآن أن الارض ليـست حوضـاً بـلا قـاع نـستخدمه ليمـتص كـل مخلفاتنـا. لقـد تعلمنـا أنـه يجـب معالجـة النفايـات قبليـاً لنـزع الـسُمية عنهـا، ولتخفيـضها، ولجعلهـا أقـل ضـرراً ولجعلهـا، أيـضاً، صـديقة أكثـر لـلأرض قبـل أن نودعهـا الأديـم، التربـة،الأرض، أرضـنا. وبغـض النظـر عـن المعالجـة، والتـدمير، وتقانـات التثبيـت، فـإن بعـض البقايـا المـستهلكة مـن النفايـات الخطـرة، التـي يجـب إحتواؤهـا فـي مكـان مـا، تظـل دائمـا باقيـة . هـذا "المكـان مـا" هوالـدفن فـي الارض، وحقـن الآبـار العميقـة، والمحتجـزات الـسطحية، وأكـوام النفايـات، ومكّبـات النفايـات .وفـي هـذا الجـزء نناقش هذه الطرق للتخلص النهائي، كل على حدة.

حقن الآبار العميقة Deep-well injection

إن ممارسة حقن الآبار العميقة (Deep-Well Injection) ليست جديدة، فقد أُستخدمت في ثمانينات القرن التاسع عشر من قبل صناعة البترول

للتخلص من الماء المالح، الذي ينتج عند الحفر بحثاً عن النفط. ومع ذلك فإن استخدام حقن الآبار العميقة للتخلص من النفايات الخطرة، هو تطور حديث نسبياً. تُقدّر وكالة حماية البيئة أن حوالى تسعة مليار جالون من كل النفايات الخطرة المنتجة في الولايات المتحدة (حوالي 22% من الناتج الإجمالي) يتم حقنها عميقاً في الأرض. وتقع معظم مناطق حقن الآبار العميقة في منطقة البحيرات العظمى، وعلى طول ساحل الخليج.

يشمل حقن الآبار العميقة حقن النفايات السائلة تحت ضغط إلى الطبقات الجوفية المعزولة بصخور غير مُنفذة، حيث يظن علماء الجيولوجيا أنها ستُحتوى إلى الابد، معزولة من مكامن المياه الجوفية، عادة في عمق يتجاوز 700 متر تحت السطح. تقوم مضخة ضغط عالٍ بدفع السوائل في مسامات في الصخور الجوفية، حيث تزيح الماء، والنفط، والغازات التي كانت موجودة أصلاً. تستخدم الصخور الرملية وتكوينات الصخور الرسوبية الأخرى لأنها مسامية وتسمح بحركة السوائل.

نظرياً، عندما تبنى، وتشغل، وتراقب بشكل سليم، فإن حقن الآبار العميقة، قد يكون الطريقة الأمثل بيئياً للتخلص من النفايات الخطرة والسامة، المتاحة حالياً. وعلى الرغم من ذلك، وكما هو الحال مع أي أمر يكون "مثالياً" نظرياً، ويقدم لنا "أفضل تقانة متاحة" فإن لحقن الآبار العميقة مشاكله. وعلى سبيل المثال، ورغم إنها تبنى على عمق تحت مستوى المياه الجوفية، فان صدوعاً في الجيولوجيا الجوفية من الممكن أن تسمح للنفايات بأن تذهب إلى حيث لا نريدها : وتحديداً للمياه الجوفية. إن المشكلة الأكبر مع حقن الآبار العميقة تتعلق

بالمجهول. لسنا متأكدين من المصير الدقيق للأغراض الخطرة بعد الحقن مثال آخر لمتلازمة" نحن لا نعلم ما لا نعلم ".

وبسبب عدم تأكدنا من نتائج ممارسات التخلص من النفايات الخطرة، فقد حظرت تعديلات العام 1984 لقانون الحفاظ على المصادر الطبيعية وإستعادتها التخلص الأرضي من النفايات غير المعالجة وغير الآمنة . ولمنشآت التخلص الأرضي المسموح لها بقبول الأغراض الخطرة، فإن وكالة حماية البيئة (1986) قد نفذت قيوداً تتطلب:

- حظر السوائل من مكّبات النفايات،
- حظر حقن النفايات الخطرة في جوف الأرض في حدود ربع ميل من بئر مياه شرب،
- تتطلب شروط إنشاء وتصميم متشددة لمكّبات النفايات والمحتجزات السطحية، وتشمل طبقتان مبطنتان أو أكثر، أنظمة تجميع للراشح فوق وبين الطبقتين المبطنتين، ومراقبة المياه الجوفية،
- تتطلب فعلاً تصحيحاً وتنظيفاً إذا حدث تسرب للنفايات الخطرة من المنشأة،
- تتطلب معلومات من منشآت التخلص حول المسارات المحتملة للتعرض للنفايات الخطرة،
- تتطلب معايير للمواقع بحيث تراعي حماية صحة الانسان والبيئة .

المحتجزات السطحية Surface impoundments

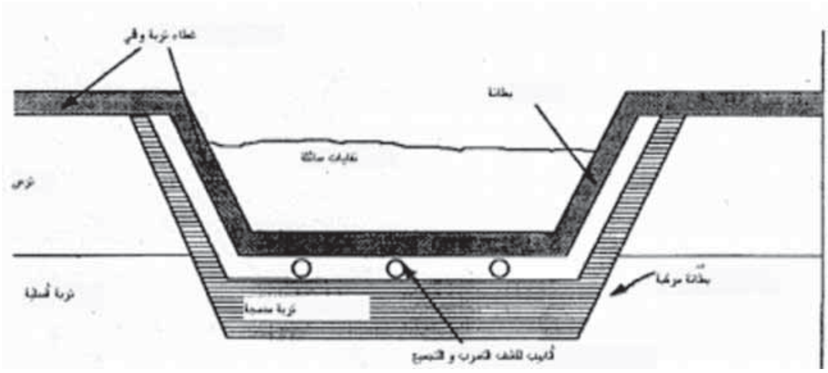
المحتجزات السطحية (surface impoundments) هي مناطق مترّسة أو محفورة وتستخدم لتخزين النفايات الخطرة السائلة (أُنظر الصورة 24-1

ص19)، ولأن معظم المحتجزات السطحية مؤقتة، ورخيصة نسبياً للبناء، وتسمح بوصول سهل للمعالجة، فقد كانت مفضلة لعدد من السنوات.

وللأسف، فقد كانت المحتجزات السطحية في الماضي تبنى بصورة ضعيفة (فقد كانت وبصورة حرفية تُحفر بسرعة او تُترس ويبدأ تشغيلها)، وذات مواقع غير جيدة (فكانت تبنى على طبقة رقيقة من التربة المنفذة التي تسمح للراشح بالتغلغل إلى المياه الجوفية)، أو تقع على مقربة شديدة من مصادر مياه شرب ذات جودة عالية (آبار أو مصادر المياه الجارية)، وإما غير مراقبة إطلاقاً أو تخضع لمراقبة ضعيفة. وفي العام 1984 قدرت وكالة حماية البيئة أن من بين ما يزيد على 180,000 محتجز سطحي تم مسحها في العام 1980 فإن 25 % فقط منها كانت مبطنة، وأقل من 10% كانت لديها أنظمة مراقبة.

وبسبب المشاكل المتعلقة،بالمواقع السيئة،البناء، وادارة المحتجزات السطحية المبكرة، فقد شددت وكالة حماية البيئة من تشريعاتها الخاصة بانشاء المحتجزات السطحية الجديدة.وتحت تعديلات قانون النفايات الصلبة والخطرة،للعام (HSWA) 1984، فإن وكالة حماية البيئة تشترط أن تحتوي المحتجزات السطحية الجديدة على:

- تثبيت طبقتين مبطنتين أو أكثر،
- نظام تجميع للراشح بين الطبقتين المبطنتين، و
- مراقبة للمياه الجوفية.



الشكل 24-1 قطاع عرضي لمحتجز سطحي لنفايات سائلة

كما يتوجب على المؤن أن تضمن منع تسرب السوائل نتيجة الملء الفائض أو المتعاقب بلا انقطاع، ومنع تعرية السدود والمتاريس. وأثناء البناء والتثبيت، يجب فحص الطبقات المبطنة للإنتظام، والأضرار والعيوب. كما ينبغي لهذه الطبقات المبطنة أن تكون مستوفية لشروط الأذونات بالنسبة للمواد المستخدمة فيها وبالنسبة لدرجة سمكها.

أكوام النفايات

Waste piles

ترتبط أكوام النفايات (waste piles) عادة بالمواقع الصناعية، حيث كانت الممارسة الشائعة، حرفياً، هي رمي النفايات في أكوام، ولاحقاً، حين يصبح الكوم "ضخماً جداً "يتم التخلص منه في مكّب النفايات .ولقد كانت الممارسة الصناعية تسّمية قائمة النفايات من هذا النوع أكوام "معالجة"،وحتى 40 القانون الفدرالي المنظم 265/264 تحت الجزء L يشير إلى مثل هذه الأكوام كوحدات معالجة أو تخزين.

والمشاكل البيئة مع مثل هذه الأكوام شبيهة بالمشاكل المتعلقة بنفايات التعدين . مثلها مثل نفايات التعدين، فإن أكوام نفايات المصانع تكون معرضة للطقس، ويشمل ذلك تبخر المكونات

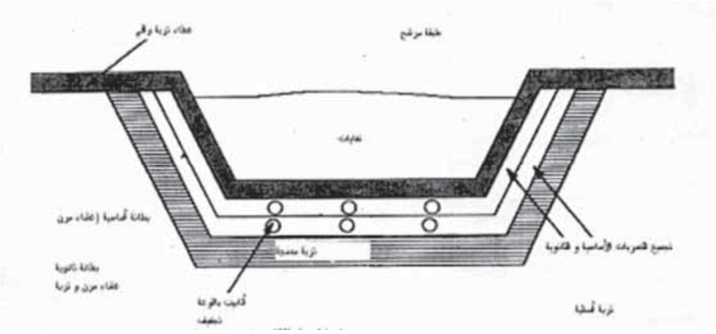
الطيّـارة للجـو، وتعريـة الريـاح والمـاء. أمـا المـشكلة الأهـم مـع أكـوام النفايـات الـصناعية، فتتعلـق بالترسـيب – ورشـح الملوثـات (مكونـة راشحاً) بإمكانه التسّلل إلى ما تحت السطح.

إن مواصـفات وكالـة حمايـة البيئـة لأكـوام النفايـات شـبيه بتلـك الخاصـة بمكّبـات النفايـات (سـتناقش لاحقـاً فـي هـذا الجـزء) وتنـدرج تحـت قائمـة 40 القـانون الفـدرالي المـنظم 265/264 تحـت الجـزء L. وتحـت توجيهـات وكالـة حمايـة البيئـة،فإن علـى المالـك أو المـشغل لكـوم نفايـات يـستخدم لتخـزين أو معالجـة النفايـات الـصلبة الخطـرة غيـر المعبـأة، أن يختـار بـين الإلتـزام إمـا بمتطلبـات أكـوام النفايـات، أو مكّبـات النفايـات.وفـي حالـة إسـتخدام كـوم النفايـات للـتخلص النهـائي، فيجـب الإلتـزام بمتطلبـات مكّبـات النفايـات. كمـا يجـب أن يوضـع كـوم النفايـات علـى سـطح غيـر مٌنفـذ، وفـي حـال تكـون راشـح، فمـن الواجـب وضـع نظـام ضـبط ومراقبة. كذلك يجب حماية كوم النفايات من بعثرة الرياح.

كبّ النفايات Land filling

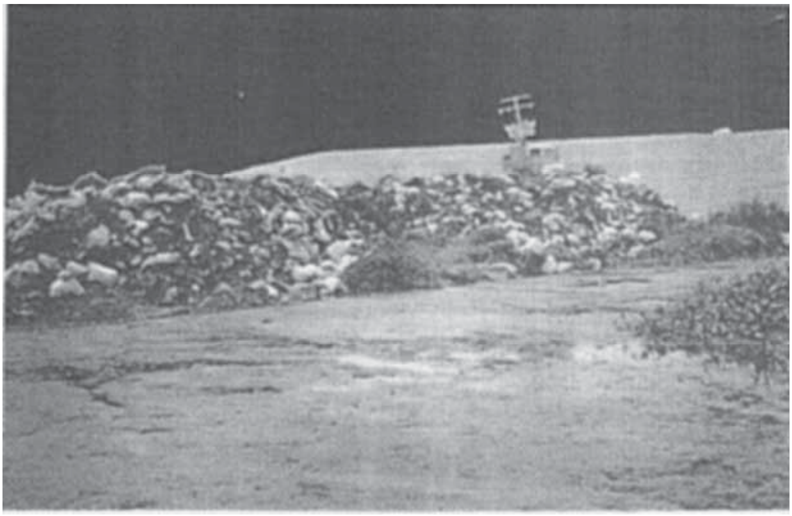
لكبّ النفايات (landfilling) تاريخ حافل بالتسبب في المشاكل البيئية– ويشمل ذلك الحرائق، والإنفجارات، وإنتاج أبخرة سامة، ومشاكل تخزين حين تخلط أنواع غير متوائمة من النفايات. ولمكّبات النفايات تاريخ أيضاً في تلويث المياه السطحية والجوفية وكالة حماية البيئة.(1990). صممت وأنشئت مكّبات النفايات الصحية (Sanitary Landfills) للتخلص من النفايات المدينية فقط، ولم تصمم، أو تبنى او يٌصرح بتشغيلها للتخلص من كتلة السوائل، و/أو النفايات الخطرة. تعرّف مكّبات النفايات المصرّح لها قانونياً باستقبال النفايات الخطرة بمكّبات النفايات الآمنة (secure landfills).

بموجب قانون الحفاظ على المصادر الطبيعية وإستعادتها فإن تصميم وتشغيل مكّبات النفايات الخطرة أصبح أكثر تعقيداً من الناحية التقانية.



الشكل 24-2 قطاع عرضي في مكب نفايات آمن بنظام بطانة مذدوجة

الشكل 24-3 النفايات الصلبة المدينية تنقل إلى منشأة معالجة فضلات، حيث تكوم من أجل المعالجة الإضافية.



الشكل 24-4 بعد التجميع الإبتدائي والفرز، يكوم ما تبقى ويحمل في شاحنات من أجل نقله إلى مكب النفايات.

الشكل 24-5 نفايات صلبة مدينية جاهزة لمكب النفايات.

فبدلاً من الممارسة السابقة بحفر فوهة ضخمة تحت السطح، ومن ثم طمرها بعدد لايحصى من حمولات الشاحنات من النفايات المتنوعة (بما في ذلك النفايات الخطرة) حتى تمتلئ،

اصـــبحت مكّبـــات النفايـــات الخطـــرة الآن تُـــصمّم كسلـــسلة مـــن الوحـــدات النموذجيـــة ثلاثيـــة الأبعـــاد. فقـــد تطـــورت إجـــراءات التـــصميم والتـــشغيل لتـــشمل احتياطـــات معقـــدة ضـــد تـــسرب وهجـــرة الرواشح.

تزوّد مكّبات النفايات الآمنة بطبقتين مُبطنتين. كما تتطلب أجهزة كشف التسرب، تجميع الراشح، والمتابعة، ومراقبة المياه الجوفية (انظر الشكل 24-2) .كما يجب أن تكون الطبقات المبطنة مستوفية للمواصفات القانونية. وعلى سبل المثال فان الطبقة المبطنة العليا يجب ان تتكون من (غشاء بطانة مرن) (flexible-membrane liner) بسمك 10–100 مل، والذي عادة ما يصنع من صفائح المطاط أو البلاستيك، في حين تتكون الطبقة السفلى عادة من غشاء بطانة مرن، إلا أن طبقة بسمك ثلاثة أقدام من الطين المُعاد الإدماج تعتبر مقبولة أيضاً.

أُنظـــر الأشـــكال 24-3و24-5 لأمثلـــة معالجـــة مكّـــب النفايـــات الخاصة بالنفايات الصلبة المدينية.

يجـب بنـاء مكّبـات النفايـات بحيـث تـسمح بتجميـع الراشـح (وذلـك عـادة عبـر أنابيـب تجفيـف مثّقبـة مـع نظـام ضـخ ملحـق) المتـراكم فـوق كـل طبقـة مبطنـة.إن الـتحكم فـي الراشـح أمـر بـالغ الأهميـة. وللمـساعدة علـى عمليـة الـتحكم هـذه (خـصوصاً للراشـح المتكـون بالترسـيب) فلابـد مـن وضـع غطـاء مـنخفض الإنفاذيـة . وينبغـي لهـذا الغطـاء أن يكـون منحـدراً ليـسمح بـالتجفيف بعيـداً عـن النفايات.

وعنـدما يمتلـئ مكـب النفايـات ويغطـى، فـلا يمكـن هجرانـه، أوتجاهلـه،أو نـسيانه. يجـب مراقبـة الموقـع للتأكـد مـن أن الراشـح لايلـوث الميـاه الجوفيـة. ويـتم هـذا عـن طريـق نـصب آبـار إختباريـة

فـــي إتجـــاه ســـريان الميـــاه الجوفيـــة، لـــضمان الكـــشف عـــن أي تـــسرب من الموقع.

ملخص الفصل
Chapter Summary

إن هرمية قانون الحفاظ على المصادر الطبيعية وإستعادتها لإدارة النفايات تلخص ما يمكن/ما ينبغي/ وما سوف يحدث للنفايات- أي نوع من النفايات- في "افضل العوالم الممكنة". وعلى الرغم من أنه من المثالي جداً،ومن البساطة بمكان أن نقول "يتوجب علينا" اتباع هذه المعايير، إلا أننا وبتعابير عملية، نستفيد على المدى الطويل من كفاحنا للوصول إليها. إن تنظيم النفايات المشكلة،وتطوير طرق آمنة وصديقة للبيئة للتخلص منها، وإستخدام التقانات التي نطور للتحكم في مستقبل مثل هذه النفايات، لهو أمر يصب في مصلحتنا جميعاً.

أسئلة ومسائل مناقشة
Discussion Questions and problems

1. كيـــف يـــتم الـــتخلص مـــن النفايـــات الخطـــرة المنتجـــة فـــي منطقتك؟

2. كيـــف تختلـــف مكّبـــات النفايـــات الـــصحية مـــن مكّبـــات النفايـــات الآمنة؟

3. لخّـــص الطـــرق المختلفـــة التـــي يـــتم بهـــا الـــتخلص مـــن النفايـــات الخطرة؟

4. ضع قائمة بفوائد ومضار كبّ النفايات.

5 مـــاهي الإحتياطـــات الواجـــب إتخاذهـــا فـــي حالـــة حقـــن الآبـــار العميقة لحماية جودة المياه الجوفية.

6 هـــل يمكـــن للراشـــح أن يتـــسرب مـــن مكّـــب نفايـــات آمـــن ؟ واذا كان الأمر كذلك فبأي طريقة؟

مواضيع ومشاريع بحث مقترحة

Suggested Research Topics and Projects

- تفحص هرمية قانون الحفاظ على المصادر الطبيعية واستعادتها لإدارة النفايات خطوة بخطوة، واجر بحثاً عن التقانات الحالية لإنجاز هذه الاهداف في صناعة معينة.

- إجر بحثاً عن تقليل النفاياتِ .جد امثلة محكمة،من صناعات تبحث جاهدة عن تخفيض النفايات الخطرة عن طريق تقليل النفايات.

- إستكشف التقانات المتاحة لإستعادة المصادر وإعادة إستخدام النفايات في صناعة البترول .

- أي نوع من النفايات الخطرة يتطلب أي نوع من المعالجة القبلية؟

- إجر بحثاً عن النفايات الخطرة الملائمة للمعالجة الحيوية.

- تفحص النفايات الملائمة للمعالجة الحرارية.

- تفحص طريقة الكربون المنشط لمعالجة النفايات.

- إجر بحثاً عن أين وكيف يستخدم التثبيت والتصلب للتحكم في النفايات الخطرة.

- إجر بحثاً عن حقن الآبار العميقة.

- إجـــر بحثـــاً عـــن محظـــورات قـــانون الحفـــاظ علـــى المـــصادر الطبيعيـــــة وإســــتعادتها – مـــــاهي العمليـــــات والممارســـــات المحظورة.
- إجـــر بحثـــاً عـــن المـــشاكل المتعلقـــة بـــالإدارة غيـــر الـــسليمة للمحتجزات السطحية .
- تفحص تاريخ المشاكل البيئية المتعلقة بمكّبات النفايات.

المراجع المثبتة

Cited References

Blackman, W. C. *Basic Hazardous Waste Management*. Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers, 1993.
EPA. *RCRA Orientation Manual, 1990 Edition*. Washington, D.C.: Government Printing Office, 1990.
———. *Solving the Hazardous Waste Problem: EPA's RCRA Program*. Washington, D.C.: EPA Office of Solid Waste, 1986.
Lindgren, G. F. *Managing Industrial Hazardous Waste*. Chelsea, Mich.: Lewis Publishers, 1989.
Postel, S. *Defusing the Toxics Threat: Controlling Pesticides and Industrial Wastes*. Worldwatch Paper 79. Washington, D.C.: Worldwatch Institute, 1987, 36–37.

المراجع المقترحة

Suggested References

Freeman, H. M., ed. *Hazardous Waste Minimization*. New York: McGraw-Hill, 1990.
Horan, N. J. *Environmental Waste Management: A European Perspective*. New York: Wiley, 1996.
Qasim, S. R., and W. Chiang. *Sanitary Landfill Leachate*. Lancaster, Pa.: Technomic Publishing Company, 1994.
Suthersan, S. *Remediation Engineering*. Boca Raton, Fla.: CRC Press/Lewis Publishers, 1997.
Tchobanoglous, G., H. Theisen, and S. Vigil. *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. New York: McGraw-Hill, 1993.
Wentz, C. A. *Hazardous Waste Management*. New York: McGraw-Hill, 1989.

Epilogue خاتمة

بإمكان العلم والتقنية أن يساعدا فى الحصول على أرض مستدامة

Science and Technology can help Achieve a Sustainable Earth

يـــرى مجتمـــع "إرمِ بعيـــداً" الأرض كمكـــان وفـــضاء لا متنـــاهي المـــوارد ، وذو إمكانيـــة لامتناهيـــة لإمتـــصاص مـــانتخلص منـــه.- (ملوثاتنـــا) . ومـــصطفين مـــع رفقائنـــا المـــواطنين فـــى عقليـــة تعـــم مجتمعنـــا، نـــزعم أنـــه بزيـــادة الإنتـــاج والإســـتهلاك والتقنيـــة، فـــإن الطريــق الـــى حيـــاة أفـــضل للجميـــع، ســـيكون ممهـــداً وواضـــحاً وبـــلا منعرجات.

فـــى الماضـــى مكنتنـــا حركـــة الإنـــسانية مـــن أن نلـــوث منطقـــة واحـــدة، ثـــم ننتقـــل ببـــساطة الـــى أخـــرى. ومنـــذ أبكـــر العـــصور كانـــت هـــذه طريقـــة البـــشر- نمطنـــا - خـــصوصا عنـــدما نتعامـــل مـــع بيئـــة أفـــسدناها (مـــن الكهـــف الـــى الغابـــة الـــى قلـــب المدينـــة). اليـــوم ربمـــا دعونـــا هـــذه عقليـــة الجبهـــة. والمـــشكلة هـــى-بطبيعـــة الحـــال- أننـــا نعـــانى نقـــصا فـــى الجبهـــات (و نتمنـــى أن نكـــون اكثـــر حرصـــا عـــى الجبهـــة التـــى تبقـــت) ووفـــرة فـــى الإزدحـــام الـــشديد والتلـــوث ومجموعـــة أخـــرى مـــن المـــشاكل البيئيـــة المتفرعـــة مـــن النمـــو الكثيـــر، والـــسريع جدا ، وأعداد السكان المتزايدة.

نحن نقيّد العلم والتقنية بسلاسل الى خشبة الجلد ، ومن ثم نهوى عليها بالسوط عقاباً لكل الشرور التى تصيب الارض. والمرتبطة بالبيئة وهى عقلية متقلبة وغير دقيقة. تتزعم عقلية أخرى وجهة النظر (عبر الإيمان الأعمى)القائلة إن

الإبداع التقنى سوف يهب لنجدتنا فى نهاية المطاف، وأننا سوف نحل هذه المشكلة، لأننا سبق وأن حللنا مشاكل من قبل. وبالفعل ومن منظور تاريخى، فقد ساعدت التقنية على إستئصال الأمراض، وتوسيع قاعدة مواردنا، ورفع مستوى معيشتنا.

وبالرغم من أن النجاحات التقنية السابقة تمثل فألاً حسناً لمستقبلنا، فإن تفاؤلنا يجب أن يُخفف بالقيود المتأصلة للبحث التقني والتنمية . ربما أستطعنا بالفعل أن نحل هذه المشاكل لكن هذا لن يحدث بمجرد تفكيرنا أننا نستطيع.

إن بنى البشر (مثل الشباب)أقوياء ، عندما تهب علينا الأعاصير ، وحينما تفيض المياه الثائرة علينا، وحينما نضطر أن نهجر موقعنا بفعل بركان أو زلزال- وحين ننجو من وباء يلج ارضنا ويقتل العديد منا – فإننا دوماً ننهض . لقد تعلمنا أن نتكيف على نزوات الطبيعة – أن نتعافى- وبتفاؤل خالد نمضي للأمام.

السؤال هو- هل بمقدورنا أن ننهض من أخطاءنا الخاصة؟ الأخطاء التى تسبب في إضعاف الأرض، وتجعل الأنهار تفيض على ضفافها المسكونة، والجفاف يثور عبر الأرض ، والوباء يهيمن بلا توقف ، وأن ينتج هواء كثيفا لدرجة أن يُرى ويُختنق به من نفس واحد، وتربةً ملوثةً جداً إلى درجة أن أبسط الأشكال النباتية لا تستطيع النمو، وماءاً فاسداً ينقل المرض .هل لدينا نفس القوة لإحتمال حماقتنا الخاصة كما هي لنا ضد أحداث الكوارث الطبيعية .

لكــى نــأتي بــالحلول يجــب أن نفهــم المــشاكل أولاً . لابــد أن نـــسأل الأسـئلة ونحــدد الأجوبــة. سـؤال آخــر ينبغــى أن نطرحــه: الــن يكــون مــن الحكمــة أكثــر أن نفــك قيــد العلــم والتقنيــة مــن عمــود الجلــد ، وأن نـــسخرهما مـــن أجـــل الـــصناعة والحكومـــة، وذلـــك لمـــساعدتنا على حل التحديات البيئية التى تواجهنا الآن وفى المستقبل ؟

نعــم . بمقــدورنا عبــر الإســتخدام المناســب للعلــم والتقنيــة أن نحــل أى مـــشكلة، بمقـــدورنا أن نحـــافظ علـــى الأرض والحيـــاة الموجـــودة فيهـــا . بمقــدورنا أن نحــل أي مــشكلة ؟ قطعـــاً. هــل يفكــر بنـــو البــشر بغيــر ذلــك؟ اذا كــان هــذا هــو الحــال فاننــا وبالتأكيــد نكــون قــد فقــدنا قــوة إحتمالنـــا ومرونتنـــا – وفقــدنا أيــضاً أى أمــل فـــى مـــستقبل مستدام .

الثبت التعريفي

غير حيوى (abiotic): الجزء الغير حى من البيئة الطبيعية على سبيل المثال الضوء، الحرارة وبنية التربة .

الإمتصاص (absorption) (1) حركة المادة الى داخل نبات، أو حيوان، أو تربة. (2) أى عملية تخترق بموجبها مادة ما باطن مادة أخرى. فى عملية تنظيف الإنسكابات الكيميائية، تستخدم هذه العملية لإمتصاص مادة كيميائيةعن طريق الشعريات داخل المواد الماصّة.

وحدات الإمتصاص (absorption units):الالآت أو الوحدات المصممة لنقل الملوث من الطور الغازى الى الطور السائل.

الانسكابات العرضية (accidental spills): الإطلاق الغير المتعمد للمواد الكيميائية والمركبات او المواد الخطرة فى البيئة.

الحمض (acid): مادة حاتّة محتوية على الهيدروجين تتفاعل مع الماء لتنتج ايونات الهيدروجين; مانح للبروتون; مركب سائل تقل نسبة الأس الهيدروجيني له عن أو تساوى 2.

تجفيف ماء المناجم الحمضى (acid mine drainage): إذابة ونقل حمض الكبريتيك ومركبات المعادن السامة من مناجم الفحم المهجورة الى الجداول القريبة أو الأنهار ، حينما تفيض مياه السطح عبر المناجم.

مطر حمضى (acid rain):ماء المطر الذى زيد من حمضيته عبر سقوطه من خلال ملوثات الهواء الحمضية (بصورة رئيسية ثانى أكسيد الكبريت) وإذابته لها.

الترسيب الحمضى (acidic deposition): إنظر المطر الحمضى

ادياباتيكي (adiabatic): من دون فقدان أو اكتساب للحرارة.حينما يرتفع الهواء ينخفض ضغطه ويتمدد بصورة أديباتيكية فى الجو، وبما أن الهواء ليس بمقدوره أن يكتسب أو يفقد الحرارة فإن درجة حرارته تنخفض مع تمدده لملء حجم أكبر.

معدل الإنقضاء الادياباتيكي (adiabatic lapse rate): خواص درجة الحرارة أو منعدل الإنقضاء ، يستخدم كأساس لمقارنة خواص الحرارة الفعلية (من المستوى الارضى) ومن ثم توقع مواصفات تشتت غاز المدخنة.

الإدمصاص (adsorption):1. العملية التى تتجذب بموجبها وتلتصق مادة ما الى سطح مادة أخرى من دون أن تخترق بنيتها الداخلية. 2. العملية التى بموجبها تُمسك (تربط) مادة ما على سطح جسيم ترابي أو معدن بطريقة تجعل المادة متاحة بشكل بطئ.

كثافة موقع الإدمصاص (adsorption site density): تركيز السطح الماص المتاح من المحتويات المعدنية والعضوية للتربة. الزيادة فى موقع الإدمصاص تعتبر مؤشراً على الزيادة فى مقدرة الاتربات على تثبيت المركبات الهيدروكربونية فى شبكة التربة.

المعالجة المتقدمة لمياه الصرف الصحى (advanced wastewater treatment): أى معالجة تلى المعالجة الأولية والثانوية لمياه الصرف الصحى تعتبر معالجة متقدمة.

الرياح المتأفقة (advanced wind):حركة الهواء الأفقية الناتجة من تدرجات درجة الحرارة والتى تنتج تدرجات كثافة وتبعا لذلك تدرجات ضغط.

هوائى (aerobic) : يعيش فى الهواء ، عكس غير هوائى

عمليات هوائية (aerobic processes): تعتمد عدد من عمليات إنتاج التقانة الحيوية وعمليات معالجة الدفق الخارج على الكائنات الحية الدقيقة التى تتطلب الأكسجين لعملياتها الأيضية . على سبيل المثال، يحتوي الماء فى الجداول الهوائية على الأكسجين المذاب . لذا فإن الكائنات الحية تستخدمه لتؤكسد النفايات العضوية الى مركبات بسيطة.

حارق خلفي (after burner): أدة تشمل موقد حرق إضافى وغرفة إحتراق لترميد الملوثات الغازية القابلة للإشتعال.

متجمع (aggregate): عناقيد من جسيمات التربة.

مصادر زراعية (agricultural sources): كل الملوثات العضوية والغير عضوية التى تنتج عادة من مبيدات الآفات، والمٌخصّبات، والنفايات الحيوانية، والتى تدخل جميعها الى الأجسام المائية عن طريق الجريان السطحى وإمتصاص المياه الجوفية فى مناطق النشاط الزراعى.

الهواء (air): خليط الغازات التى تكون جو الارض .

تيارات الهواء (air currents): تنتج بحركة الهواء الى أعلى وأسفل

كتلة الهواء (air mass): جسم ضخم من الهواء ذو خواص معينة من حيث درجة الحرارة والرطوبة. تتكون كتلة الهواء حينما يستقر الهواء في منطقة ما لفترة طويلة بما فيه الكفاية لكى يلتقط الظروف الجوية لتلك المنطقة.

ملوثّات الهواء (air pollutants): تشمل بصورة عامة ثانى أكسيد الكبريت، وكبريتيد الهيدروجين، والهيدرو كربونات، وأول اكسيد الكربون، والأوزون، والنيتروجين الجوى، كما أنها قد تشمل أي من المواد الغازية التى تلوث الهواء.

تلوث الهواء (air pollution): تلوث الهواء بأي من المواد التي تسبب تلفاً للحياة او الممتلكات.

تعرية الهواء (air stripping): عملية انتقال كتلة تنتقل بها المادة من محلول مائي الى محلول غازي.

الملوثات المنقولة عن طريق الهواء (airborne contaminants):اى ملوث قابل لان يتشتت فى الهواء و/أو أن يحمل بالهواء الى مناطق اخرى.

المواد الدقائقية فى الهواء (airborne particulate matter): المواد الصلبة الدقيقة أو القطيرات السائلة المعلقة والمحمولة جواً.

البيدو albedo: النسبة من الإشعاع المستقبل التي تنعكس بواسطة سطح ما.

الطحالب (algae): تجمع ضخم ومتنوع من الكائنات الحية حقيقية النواة التى تفتقد الى الجذور، والسيقان ، والأوراق لكنها تحتوى على الكلورفيل والصبغات الاخرى اللازمة لإجراء عمليات التمثيل الضوئى المنتجة للأكسجين.

القاعدية (alkalinity):(1) تركيز أيونات الهيدروكسيل (2) مقدرة الماء على معادلة الأحماض بسبب محتواه من الكربونات، والبيكربونات، أو الهيدروكسيد. يعبر عنها عادة بالملجرامات فى اللتر من مكافئات كربونات الكالسيوم.

الألكانات (alkanes): صنف من الهيروكربونات (مواد غازية وصلبة او سائلة اعتماداً على محتواها الكربوني). وموادها الصلبة (البارافينات) هى مكون

رئيسى للغاز الطبيعى والنفط. عادة ما توجد الألكانات فى الحالة الغازية فى درجة حرارة الغرفة (الميثان)، وذلك حينما يحتوى الجزئى على اقل من خمسة ذرات كربون.

الألكينات (alkenes)**:** صنف من الهيدروكربونات (الأوليفينات)، أحيانا تكون فى الحالة الغازية فى درجة حرارة الغرفة، إلا أنها عادة تكون فى الحالة السائلة، وهي شائعة الوجود فى المنتجات النفطية. وهي بصورة عامة أكثر سمية من الألكانات وأقل سمية من المواد الأروماتية.

الألكاينات (alkynes)**:** صنف من الهيروكربونات (كانت تدعى سابقاً بالأستلينات). وهى مركبات غير مشبعة تتميز بوجود رابطة ثلاثية بين ذرات الكربون المتجاورة. الألكاينات الخفيفة مثل الأستلين هى مركبات غازية، بينما المركبات الأثقل من هذا الصنف تكون فى الحالة السائلة او الصلبة.

الهيدروكربونات الاليفاتية (aliphatic hydrocarbons)**:** مركب يتكون من جزئيات في سلسلة مستقيمة بالمقارنة مع البنية الحلقية.

الأميبيات (amoebae) **(ج) أمبيا** (amoeba) **(م):** واحدة من ابسط الكائنات الحية تتكون من خلية منفردة وتنتمى الى مجموعة البروتوزوا. يتكون جسمها من بروتوبلازم عديم اللون. ويتحكم فى انشطتها من قبل النواة وتتغذى بالإنسياب حول البقايا العضوية وبلعها. وتتكاثر عن طريق الإنقسام الثنائى البسيط. بعض أنواع الاميبيا طفيليات غير ضارة.

الأيض البنائى (anabolism) : عملية بناء نسيج الخلية والتي يُعززها تاثير بعض الهرمونات . الجانب البنائى من عملية الايض (مقارنةً بالأيض الهدمى).

غير هوائى (anaerobic): لا يحتاج للأوكسجين.

عملية غير هوائية anaerobic process: أى عملية (عادة ما تكون كيميائية او حيوية) تجرى فى غياب الهواء او الأكسجين. على سبيل المثال فى المياه شديدة التلوث التى لا يوجد بها أكسجين مذاب .

التحليل (analysis): فصل مكونات كُل ثقافي أو مادى الى اجزائه المكوّنة بغرض دراسته بصورة منفردة.

معالف الحيوانات animal feedlot:منطقة مغلقة يوجد فيها مئات أو الآف من الماشية من أجل بيعها للمذابح ومنتجي اللحوم.

نفايات الحيوانات animal wastes: تتكون من الروث (المادة البرازية) وبول الحيوانات.

المصادر البشرية anthrapogenic sources: ناتجة من النشاط البشرى.

الإعصار المضاد (anticyclone): منطقة جوية عالية تتميز بجو صحو، وبغياب الأمطار والرياح العنيفة.

الأبوانزيم (apoenzyme): الجزء البروتينى من الإنزيم.

محلول مائى (aquous solution): محلول يكون المذيب فيه هو الماء.

مكمن المياه الجوفية (aquifer):أى تشكيل صخرى يحتوى على الماء. صخور المكمن يجب أن تكون مسامية ومنفذة لكى تمتص الماء.

الهيدروكربونات الأروماتية aromatic Hydrocarbon: صنف من الهيدرو كربونات، وتعتبر أكثرها سمية بصورة مباشرة، توجد فى منتجات النفط والبترول، وهي قابلة للذوبان فى الماء. عكسها :الأليفاتية.

إدماج الاسفلت asphalt Incorporation: عملية معالجة وإعادة تدوير للتربة، تزال فيها التربة من موقع ما وتدخل فى عملية صنع أسفلت كجزء من المادة المالئة المتجمعة.

الجو atmosphere: طبقة الهواء التى تحيط بالارض

الذرة atom: وحدة أساسية للمادة الطبيعية، غير قابلة للانقسام بواسطة الطرق الكيميائية، وحدة البناء الاساسية للمادة الكيميائية، تتكون من نواة من البروتونات والنيوترونات المحاطة بالإلكترونات.

العدد الذرى atomic number:عدد البروتونات فى نواة الذرة .وقد خصص رقمٌ لكل عنصر كيميائى فى سلسلة من 1 الى ما يزيد عن المائة.

المدارات الذرية atomic or bitals/ electron shells: الأغلفة الإلكترونية،المنطقة المحيطة بالنواة التى يكون إحتمال وجود الإلكترونات فيها كبيراً.

الوزن الذرى atomic weight: كتلة عنصر بالنسبة الى ذراته.

مسبار anger: أداة مستخدمة لخرق ثقوب فى التربة من أجل أخذ عينات منها.

آخذ العينات الالى automatic samplers: أداه تأخذ العينات بصورة آلية من تيار مياه الصرف الصحى.

ذاتية التغذية autotrophic: كائن بمقدوره أن يخلق الجزئيات العضوية التى يحتاجها للنمو من مركبات غير عضوية بإستخدام الضوء أو مصدر طاقة آخر.

رقم أفوغادرو Avogadro's number:عدد ذرات الكربون فى 12 جم من نظير الكربون−12 $(6.0022045x10^{23})$; تحتوى الكتلة الذرية النسبية لأى عنصر معبراً عنها بالجرامات على هذا العدد من الذرات.

العصويات bacilli (جمع) **عصوى** bacillus (مفرد)**:** أعضاء مجموعة من البكتريا ذات الشكل القصبي الموجودة فى كل مكان في التربة والهواء، بعضها مسؤول عن الأمراض مثل الجمرة الخبيثة، أو عن التسبب فى إفساد الطعام.

بكتيريا bacteria: كائنات حية وحيدة الخلية.

ملتهم البكتريا (العاتية) bacteriophage: فيروس يصيب البكتريا ويدعى عادة بالملتهم.

مرشح كيس baghouse filter: كيس ذو حياكة دقيقة يستخدم لإزالة الغاز من التيارات الغازية المحملة بالغبار. يسمح بمرور الغاز بينما يحتجز الغبار.

تعاقب الصخور العارية bare rock succession:عملية تعاقب بيئية تتفكك فيها الصخرة أو المادة الأم الى تربة عن طريق سلسلة من العمليات الحيوية البيئية.

قاعدة base: المادة التى تعطى أيونات الهيدروكسيل عندما تذاب فى الماء أو المادة القادرة على التفاعل مع الأحماض لكى تعطى الأملاح.

إعادة الإستخدام المفيدة beneficial reuse: ممارسة إعادة إستخدام منتجات النفايات المعتادة بصورة مفيدة. على سبيل المثال، إنتاج السماد من أوحال مياه الصرف الصحي.

قاعى benthic: مصطلح ناتج من الأصل الاغريقى (بمعنى قاع) . وتشمل بصورة عامة الكائنات الحية المائية الموجودة على القاع أو على النباتات المغمورة.

أفضل التقنيات المتاحة best available technology (BAT): هو بصورة أساسية ، صقل لأفضل الطرق العملية، بحيث يمكن ممارسة درجة أكبر من التحكم بالإنبعاثات فى اليابسة، والهواء، والماء بإستخدام التقنية المتاحة حاليا.

النظام الثنائى للتسمية العلمية binomial system of nomenclature: نظام يستخدم لتصنيف الكائنات الحية، توصف الكائنات الحية بصورة عامة توصف بإسم علمى من كلمتين: النوع والجنس.

التراكم الحيوى bitoaccumulation: آلية تركيز حيوى تقوم من خلالها الكائنات المتغذية بالترشيح مثل الكائنات الشفافة، والمحار، والاسماك الأخرى بتركيز المعادن الثقيلة، أو المركبات اباقية الأخرى الموجودة بتراكيز مخففة فى البحر أو فى المياه العذبة

الطلب الكيميائى الحيوى على الأكسجين biochemical oxygen demand (BOD): مقدار الأكسجين الذى تتطلبه البكتريا لتثبيت المواد العضوية القابلة للتحلل تحت الظروف الهوائية.

قابل للتفكيك الحيوى biodegradable: مادة قابلة للتفكك عن طريق الكائنات الحية الدقيقة الى عناصرها الاساسية.

القابلية للتفكيك الحيوي biodegradation: قدرة العمليات التفكيكية الطبيعية لتفكيك المركبات المصنوعة بواسطة البشرأو المصنوعة في الطبيعة الى

عناصرها ومركباتها المكوّنة ،لإستيعابها في وعن طريق دورات التجدد الاحيائي. على سبيل المثال ، تفكك الخشب الى ثاني أكسيد الكربون وماء.

الدورات الكيميائية الحيوية الجيولوجية biogeochemical cycles: حيوية يقصد بها الكائنات الحية; جيولوجية يقصد بها الماء، والهواء، والصخور، والمواد الصلبة; كيميائية يعنى بها التركيب الكيميائى للأرض. تُدفع الدورات الكيميائية الحيوية الجيولوجية من قبل الشمس بصورة مباشرة او غير مباشرة.

الطلب الحيوى على الأكسجين biological oxygen demand (BOD): مقدار الأكسجين المذاب الذى تاخذه الكئنات الحية الدقيقة فى عينة من الماء.

المعالجة الحيوية (biological treatment): عملية تحول بها النفايات الخطرة الى أخرى غير خطرة أو يُقلل حجمها بفعل الكائنات الحية الدقيقة.

عمليات المعالجة الحيوية biological treatment process: تشمل عمليات معالجة مثل وحل الصرف الصحى المنشط، البحيرة المهواة، والمرشحات وبرك تثبيت النفايات والهضم اللا هوائى.

علم الأحياء biology: علم الحياة.

معالجة المواد الصلبة الحيوية biosolid's treatment: تشير الى أوحال مياه الصرف الصحي والمجاري. وعادة تشمل عمليات معالجة المواد الصلبة الحيوية التكييف، وزيادة السمك، ونزح الماء، والتخلص عن طريق الترميد، والتحويل الى سماد، وإستخدامها على الأرض، والدفن الأرضى.

الغلاف الحيوى biosphere: المنطقة من الأرض وغلافها الجوى التى توجد بها الحياة،غلاف يمتد من ارتفاع 6000 متر فوق الارض الى 10000 متر تحت

مستوي سطح البحر، ويشمل كل أشكال الحياة من نباتات الجبال الشاهقة وحتى أعماق المحيطات .

المحفز الحيوى biostimulent: مادة كيميائية بمقدورها أن تحفز النمو: الفوسفات او النترات فى النظام مائى

المجموع الحيوي biota: كل الحياة الحيوانية او النباتية فى منطقة معينة، ووتتعتبر كياناً بيئياً شاملاً.

حيوى biotic: يقصد به الحياة أو ظروف حياتية معينة.

المؤشر الحيوى bioindicator: تنوع الأنواع فى نظام بيئى هو عادة مؤشر جيد على وجود التلوث كلما كثر التنوع كلما قلت درجة التلوث. المؤشر الحيوى هو مسح ممنهج للكائنات الحية اللا فقارية التى تستخدم للربط مع جودة النهر وهو مبنى على مبدأين:

(1) يميل التلوث للحد من تنوع الكائنات الحية الموجودة فى نقطة ما، بالرغم من أن عدداً كبيراً من الانواع المقاومة للتلوث قد تستمر بالبقاء.

(2) فى جدول ملوّث، ومع زيادة درجة التلوث تميل الكائنات الحية الرئيسية للاختفاء حسب الترتيب التالى : ذباب الحجر، ذباب مايو ،ذباب_كاديس ، جمبرى المياه العذبة، الديدان الدموية،و ديدان_تيوبفسد

البرعم البوغى blastospore: أو البرعم. أبواغ فطرية تتكون عن طريق التبرعم.

غاز الاحتراق المتسرب blowby: فى الة الاحتراق الداخلى يحدث حينما تعبر الغازات من منطقة حلقة المكبس الى علبة المرفق.

درجة الغليان boiling point: درجة الحرارة التى تتحول عندها المادة من الحالة السائلة الى الحالة الغازية.

الماء قليل الملوحة brakish water: ماء غير صالح للشرب يحتوى على ما بين 100 الى 10,000 جزء من المليون فى المواد الصلبة المذابة الكلية.

عملية تصنيع الطوب brick manufacturing process: فى هذا الكتاب يقصد بها عملية إعادة تدوير/معالجة تربة ملوثة ، حيث تضاف التربة الملوثة الى الخليط المستخدم فى صناعة الطوب.

الماء شديد الملوحة brine: ماء يحتوى على ما يزيد على 100,000 جزء من المليون من المواد الصلبة المذابة الكلية(الملح،كلوريد الصوديم) والذى يمكن أن ينتج الملح بعد تبخيره.

BTU: وحدة حرارة بريطانية، وحدة قياس للحرارة.

التبرعم budding: صنف من اصناف التكاثر اللاجنسى الذى يبرز فيه نمو خارجى من خلية ليكون فردا جديدا. تتكاثر معظم أنواع الخميرة بهذه الطريقة.

سعر Calorie: مقدار الحرارة المطلوبة لرفع درجة حرارة جرام واحد من الماء درجة مئوية واحدة

علبة capsule: العلب البكتيرية هى تراكمات منظمة من المادة الجيلاتينة على الجدران الخلوية.

إدمصاص الكربون carbon adsorption:عملية يستخدم فيها الكربون المنشط المعروف بالممتص، لإزالة نفايات معينة من الماء عن طريق حملها بصورة تفضيلية على سطح الكربون.

دورة الكربون carbon cycle: الجو هو مستودع لغاز ثانى أكسيد الكربون. ولكن لكى يصبح هذا الغاز ذا فائدة للحياة ينبغى أن يحول الى مادة عضوية مناسبة و– يثبت، كما هو الحال فى إنتاج سيقان النباتات عن طريق عملية التخليق الضوئى. تقاس إنتاجية منطقة ما من مناطق النباتات بمعدل تثبيت الكربون. يعاد الكربون المثبت بعملية التخليق الضوئى فى نهاية المطاف الى الجو حين تموت النباتات والحيوانات، وتتحلل المادة المثبتة بواسطة الكائنات الحية المفككة.

ثانى أكسيد الكربون carbon dioxide: غاز عديم الرائحة واللون; ناتج عرضي للاحتراق.

أول أكسيد الكربون carbon monoxide: غاز شديد السمية والإشتعال وهو ناتج لعملية الإحتراق غير المكتمل، شديد الخطورة حتى في التراكيز المنخفضة جداً.

عسر الكربونات carbonate hardness: عسر ماء مؤقت بسبب وجود البيكربونات ،حينما يغلي الماء تتحول البيكربونات الى كربونات غير قابلة للذوبان تترسب على شكل قشرة .

الايض الهدمى catabolism: فى الاحياء،المكون الهدمى لعملية الأيض حيث يتحول النسيج الحي الى طاقة ونفايات.

الحفز catalysis: تسريع أو إعاقة التفاعل الكيميائى أو الكيميائى الحيوى بواسطة مقدار صغير نسبيا من مادة (العامل الحفاز) ، لا تتعرض هى ذاتها لأى تغيير كيميائى دائم، و يمكن إسترجاعها بعد نهاية التفاعل .

العامل الحفاز catalyst: مادة أو مركب يسرع من من معدل التفاعلات الكيميائية أو الكيميائية الحيوية

الإحتراق الحفزى catalytic cambustion: يعمل عن طريق تمرير تيار غازى محمل بالملوثات ومسخن قبلا عبر قاع حفاز يعزز من تفاعل الأكسدة في درجات حرارة منخفضة. يستخدم العامل الحفاز المعدنى (عادة ما يكون البلاتين) لإستهلال وتعزيز الاإحتراق في درجات حرارة أكثر إنخفاضا بكثير مما هو مطلوب للإحتراق الحرارى.

محول حفزى catalytic converter: أداة مثبتة على نظام العادم في المركبات من أجل تخفيف الإنبعاثات السامة من الآلة. تحول هذه الآلة منتجات العادم الضارة الى منتجات عديمة الضرر نسبياً، عن طريق تمرير غازات العادم على خليط من العوامل الحفازة الموجودة على سطح خلية نحل معدنية أو سيراميكية، وهى بنية تزيد من مساحة السطح، وتزيد بذلك من مقدار العامل الحفاز النشط الذى يتماس مع غازات العادم.

المصب catchment: منطقة التجفيف السطحية لمياه الامطار،منطقة تجميع لإمدادات الماء أو النظام النهرى. الخط النظرى أو مستجمع المياه على الأراضى المرتفعة المحيطة يعرف المنطقة.

خلية cell: الوحدة الأحيائية الاساسية للمادة النباتية أو الحيوانية.

غشاء الخلية cell membrane:الغشاء السيتوبلازمى.الغشاء المحتوى على الدهون والبروتين ذو الإنفاذية الإختيارية الذى يحيط بسيتوبلازم الخلايا ذات النواة الكاذبة والحقيقية. فى معظم أنواع خلايا الاحياء الدقيقة يُحد غشاء الخلية من الخارج بجدار الخلية. يعتمد التكوين الدقيق لغشاء الخلية فى الاحياء الدقيقة على النوع ، وعلى ظروف النمو ، و عمرالخلية.

نواة الخلية cell nucleus: محتواه داخل حقيقات النواة ، وهى جسم محاط بغشاء ويحتوى على كروموسومات.

جدار الخلية cell wall:الطبقة الخارجية الاخيرة المنفذة والجامدة لخلية النبات وتتكون بصورة رئيسية من السيليوز.

عملية إنتاج الاسمنت cement production process: تقنية إعادة تدوير معالجة تربة ملوثة تضاف فيها التربة الملوثة الى الخليط فى عملية إنتاج الاسمنت.

قانون الاستجابة البيئية الشاملة ،التعويض والمسئولية القانونية (CERCLA): قانون الإستجابة البيئية الشاملة ،التعويض والمسئولية القانونية للعام 1980والمعروف بالدعم الفائق . يوفرهذا القانون الدعم لعمليات التنظيف، والتعويض، ويحدد المسؤلية القانونية عن إطلاق المواد فى الماء واليابسة والهواء.

رابطة كيميائية chemical bond: الآصرة الكيميائية التي تربط الذرات سوياً لتكوّن الجزئيات.

تغير كيميائي chemical change: إنتقال ينتج من تكوين أو كسر الروابط الكيميائية.

المعادلة الكيميائية chemical equation: طريقة مختزلة للتعبير عن التفعل فى هيئة صيغ كيميائية مكتوبة.

الإستخلاص الكيميائى chemical extraction: عملية تغسل فيها التربة الملوثة من أجل إزالة الملوثات المعينة.

صيغ كيميائية chemical fromulae: فى حالة المواد التى تتكون من جزيئات، تؤثر الصيغة الكيميائية على انواع الذرات الموجودة فى كل جزيئ وأعداده الحقيقية.

الطلب الكيميائى على الأكسجين chemical oxygen demand (COD): طريقة لقياس قوة تلوث النفايات المنزلية والصناعية إعتماداً على حقيقة أن كل المركبات العضوية، بإستثناء القليل منها، يمكن أكسدتها بفعل عوامل مؤكسدة قوية تحت ظروف حمضية الى ثانى أكسيد كربون وماء .

الترسيب الكيميائى chemical precipitation: عملية تزال بموجبها الملوثات الغير عضوية (العناصر الثقيلة من المياه الجوفية) وذلك بإضافة مركبات الكربونات والهيدروكسيد والكبريتيد.

جرد /مسح العمليات الكيميائية chemical process audit/survey: إجراء يستخدم لجمع معلومات عن نوع وتكوين وكمية النفايات المنتجة .

تفاعلات كيميائية chemical reactions: حينما تخضع مادة ما الى تغيير كيميائي ولا تعود تظل نفس المادة وتتحول الى مادة أو مواد جديدة.

التجوية الكيميائية chemical weathering: شكل من اشكال التجوية يسببه التغيرالكيميائي فى الصخور التي تتأثر به، ويشمل تفكك المعادن داخل الحفرة وينتج عادة بقايا شبيهة بالطين

التخليق الكيميائى chemosynthesis: طريقة لصنع البرتوبلازم بإستخدام الطاقة من التفاعلات الكيميائية، على العكس من إستخدام الطاقة لذات الغرض فى عملية التخليق الضوئى.

الكلوروفلوروكربونات chlorofluorocarbons (CFSs): مواد كيميائية مخلّقة عديمة الرائحة وغير سامة وغير قابلة للإشتعال وخاملة كيميائيا. أستخدمت الكلوروفلوروكربونات كدافعات فى علب الرذاذ، وكمواد مبرّدة في الثلاجات ومكيفات الهواء، وفى تصنيع عبوات الرغوة . وهى مسئولة بصورة جزئية عن تحطيم طبقة الأوزون.

يخضور أو كلورفيل chlorophyll: خليط من صبغات خضراء وصفراء موجودة فى كل النباتات (الخضراء) التى تلتقط طاقة الضوء ، وتمكّن النباتات أن تصنع الكربوهيدرات من ثانى أكسيد الكربون والماء فى عملية تعرف بالتخليق الضوئى. توجد فى كل الطحالب والبلانكتونات النباتية وفى كل النباتات العليا تقريبا.

بلاستيدات خضر أو كلوروبلاست (chloroplasts): بنية أو (عضية) موجودة داخل خلية النباتات وتحتوى على صبغة الكلورفيل الخضراء.

أهداب cilia: أعضاء شبيه بالخيط علي سطح بعض الخلايا تتكون من ألياف متقبضة، تنتج حركات تلويح منتظمة الإيقاع. تتحرك بعض الكائنات وحيدة الخلية عن طريق الهدب. في الحيوانات متعددة الخلايا تحافظ الأهداب على الأسطح المشحمة خاليةً من الحطام. كما تحرك الأهداب الغذاء في القنوات الغذائية لبعض اللافقاريات.

إبانة clarification: عملية إزالة المواد الصلبة من الماء

المحتوي الطيني clay content: مقدار الطين (الصخر الرسوبي ذو الحبيبات الدقيقة).

قانون الهواء النظيف clean air act (CAT): الإسم الذي أعطي لقانونين مررتهما حكومة الولايات المتحدة. تعامل قانون العام 1963 مع التحكم في الدخان من المصادر الصناعية والمنزلية. تم توسيع هذا القانون بقانون العام 1968 خصوصاً للتحكم بتنظيف الغاز، وبإرتفاع مداخن النصب التي يحرق فيها الوقود للتعامل مع الدخان من مواقد الصناعة المفتوحة. جلب تعديل العام 1990 على قانون الهواء النظيف إصلاحات واسعة المدى لكل أنواع التلوث من المصادر الكبيرة، أو الصغيرة، أو المتنقلة، أو الثابتة، ويشمل ذلك الإنبعاثات من العادية الى السامة، التي تتراوح مصادر إنتاجها من منشآت الطاقة الى المنتجات الإستهلاكية.

قانون الماء النظيف clean water act (CWA): قانون بيئي يعد حجر زاوية، وينسب له فضل الحد بصورة كبيرة من مقدار التلوث الداخل إلي الممرات المائية في الأمة. ويعرف بصورة أكثر رسمية بتعديلات القانون الفدرالي للتحكم في تلوث المياه. هذا القانون الذي مرر في العام 1972 يرجع أصله الى قانون العام 1948 الذي عدل كثيراً والذي يساعد المجتمعات على بناء منشآت معالجة مياه المجاري، كما أن قانون العام 1972 ذاته قد عدل كثيراً، أبرز تعديلاته كانت في 1977و 1987.

منطقة نظيفة (clean zone): تلك النقطة في النهر أو في أعلى الجدول قبل أن تفرغ نقطة واحدة من التلوث.

مناخ (climate): النسق المركب من الظروف الجوية التي يمكن توقعها في منطقة معطاة. يقصد بالمناخ الدورات السنوية لدرجة الحرارة والريح وهطول الأمطار وما الى ذلك وليس الإختلافات اليومية.

عملية تحويل الفحم الى غاز coal gasification process: تحويل الفحم (عن طريق التقطير الإتلافي أو التسخين) الى وقود غازي.

مكورات (cocci) **(ج) مكورة** (coccus) **(م):** عضو مجموعة البكتريا الكروية وبعضها ضار بالإنسان.

عامل مساعد cofactor: منشط غير بروتيني يشكل الجزء الوظيفي في الإنزيم.

جبهة باردة cold front: الجزء الامامي من كتلة هوائية جوية باردة متحركة عكس حركة كتلة هواء دافئة وتحل محلها في نهاية المطاف.

عملية أسفلت المزج البارد cold-mix asphalt process: عملية متحركة أو متموضعة تتم فيها معالجة أو إعادة تدوير التربة الملوثة بإستخدامها كالمكون ذو الحبيبات الدقيقة في عملية صنع الأسفلت.

مجمع collector: إنظر إعصار

مادة غروية colloidal material: مكون من مكونات المواد الصلبة الكلية في مياه الصرف الصحي; يتكون من مادة دقائقية ذات قطر يتراوح بين 1 مللي مايكرون إلى 1 مايكرون.

لون color: خاصية فيزيائية للماء تستخدم عادة في الحكم على جودة الماء; الماء النقي عديم اللون.

مياه الصرف الصحي المجمعة combined wastewater: مزيج مياه الصرف الصحي والجريان من مياه العواصف الممطرة.

الإحتراق combustion: في المصطاحات الكيميائية، الإتحاد السريع لمادة ما مع الأكسجين، الذي يرافقه إطلاق للحرارة والضوء (أحياناً). في التحكم في

تلوث الهواء، عملية الإحتراق أو الترميد هي عملية تحكم مفيدة في التلوث يكون الهدف منها تحويل ملوثات معينة إلى مواد غير ضارة مثل ثاني أكسيد الكربون والماء.

المنتجات الكيميائية التجارية commercial chemical products: فئة تصنيفية لوكالة حماية البيئة تدرج فيها النفايات الخطرة (تسمى أيضاً النفايات المدرجة من الصنف Pوالصنف U لأن أرقامها الرمزية تبدأ بهذين الحرفين); تشمل أيضاً منتجات كيميائية محددة أو وسائط تصنيع كيميائية.

المصادر التجارية للنفايات الصلبة المدينية commercial sources of (MSW): المواد الصلبة المنتجة في المطاعم، والمحلات، والنزل، ومحطات الخدمة، ومحلات التصليح، ومحلات الطباعة.

قانون حق المجتمع في أن يعرف community right-to-know-act: جزء من إس أي آر أي، العنوان القانوني الثالث تحت قانون الإستجابة البيئية الشاملة والتعويض والمسؤولية القانونية. ينص على أن المجتمع الموجود بقرب منشأة تخزن، أو تنتج، أو تستخدم أغراضاً خطرة له الحق في أن يعرف التبعات التي يمكن أن تحدث في حالة حدوث إنسكاب كيميائي كارثي، أو إطلاق للمواد الكيميائية من الموقع.

عينة مركبة composite sample: عينة تكونت بمزج عينات مأخوذة عند نقاط دورية في الزمن أو عند حصة متناسبة من الإنسياب. يعتمد عدد العينات المنفردة التي تكون العينة المركبة على التغير في تراكيز الملوث والإنسياب.

عملية تكوين السماد composting: عملية إعادة إستخدام حيوية مفيدة تحول فيها النفايات (على سبيل المثال، قلامة الباحة أو المواد الصلبة الحيوية) إلى مادة شبيهة بالدبال تستخدم في تعديل التربة.

مركب compound: مادة مكونة من عنصرين أو أكثر، متحدين أو متحدة بنسب محددة.

محلول مركز concentrated solution: مذاب موجود بتراكيز وكميات ضخمة.

تكثيف condensation: تقنية تحكم في تلوث الهواء تستخدم في إزالة الملوثات الغازية من تيار النفايات; عملية تزال فيها الغازات المتطايرة من تيار الملوث وتحول إلى سائل.

مكثف condenser: أداة للتحكم في تلوث الهواء تستخدم في طريقة التكثيف من أجل تكثيف الأبخرة إلى الطور السائل إما عن طريق زيادة ضغط النظام بدون تغيير درجة الحرارة، أو عن طريق خفض درجة حرارة النظام إلى درجة حرارة التشبع بدون تغيير في الضغط.

توصيل conduction: إنسياب الحرارة للطاقة الحرارية عبر مادة ما بدون حركة أي جزء من المادة ذاتها.

مكمن مياه جوفية محصور confined aquifer: يتكون من طبقة حاملة للماء واقعة بين طبقتين ذواتا إنفاذية أقل; إنسياب الماء محصور فقط في الحركة العمودية.

غبيرات conidia: أبواغ غير جنسية محمولة على الميسليا الهوائية (بكتيريا أكتينموسايت)

مصادر الهدم والتشييد للنفايات الصلبة المدينية construction and demolition sources of MSW: تنتج عند مواقع التشييد، وهدم المواقع القديمة، وإصلاح الطرقات/ مواقع الترميم، والرصيف المكسور.

المستهلكات consumers: الكائنات الحية التي لا تستطيع إنتاج غذائها بنفسها وتأكل عن طريق الإبتلاع والهضم المسبق للموائع، والخلايا، والأنسجة، ومنتجات نفايات الكائنات الحية الأخرى.

مكثف التماس contact condenser: شبيه منقي الغازات عن طريق الرش; يبرد تيار البخار عن طريق رش السائل مباشرة في تيار البخار.

التحكم في التخلص control of disposal: نظام من التحكمات والقيود يتحكم في التخلص من النفايات الخطرة على، أو إلى داخل الأرض. عنصر أساسي من هدف قانون الحفاظ على الموارد وإستعادتها في حماية إمدادات المياه الجوفية.

الحمل الحراري convection: طريقة لإنتقال الحرارة تدور فيها الجزئيات المسخنة عبر وسط (غاز أو سائل).

طريق برج التبريد cooling tower method: طريقة معالجة تستخدم لمعالجة المياه الملوث بالحرارة عن طريق رش الماء المسخن في الهواء، الشئ الذي يمكنها من أن تبرد عن طريق التبخير.

أكآلة corrosive: مادة تهاجم مواداً أخرى وتتسبب في تآكلها عن طريق الفعل الكيميائي القوي.

رابطة تساهمية covalent bond: رابطة كيميائية تتكون عندما تتشارك ذرتين زوجاً إلكترونياً واحداً أو أكثر.

قانون من المهد إلى اللحد cradle-to-grave-act: إنظر قانون الحفاظ على الموارد وإستعادتها.

قشري crustacean: واحد من أصناف المفصليات يشمل السرطانات، والكركند، والقريدس، وقمل الخشب، والبرنغيل.

تخثث مستحدث cultural eutrophication: تغذية فائضة للأنظمة المائية بالمغذيات النباتية ينتج من الأنشطة البشرية، التي تشمل الزراعة، والتمدين، والتفريغات الصناعية.

إعصار cyclone: في التحكم في تلوث الهواء، يستخدم جامع الأعاصير لإزالة الجسيمات من التيار الغازي عن طريق القوة الطاردة المركزية.

سايتوكروم Cytochrome: صنف من البروتينات المحتوية على مغنيسيوم في ميتوبلازم الخلية.

سيتوبلازم cytoplasm: المادة الشبيهة بالهلام الموجودة داخل الخلية.

المفككات decomposers: كائنات حية مثل البكتيريا، ونباتات عش الغراب، والفطريات تتحصل على المغذيات عن طريق تفكيك المادة المعقدة في النفايات والأجسام الميتة إلى مواد كيميائية أكثر بساطة، يعاد معظمها إلى التربة والماء حيث يستخدم من قبل المنتجات.

تفكيك decomposition: عملية يختزل فيها المركب الكيميائي إلى المواد المكونة له. في علم الأحياء، تحطيم الكائنات الحية الميتة إما عن طريق الإختزال الكيميائي أو عن طريق فعل المفككات.

حقن البئر العميق deep-well injection: في تقنية التحكم في النفايات، التخلص النهائي من النفايات السائلة الخطرة تحت الضغط إلى الطبقة الجوفية المعزولة عن طريق الطبقة الصخرية الغير منفذة إلى عمق يبلغ 700 متر.

كثافة density: نسبة وزن الكتلة إلى وحدة الحجم.

إستنفاذ depletion: في تقييم جودة الهواء المحيط، يتعلق بحقيقة أن الملوثات المنبعثة إلى الجو لا تظل هنالك إلى الأبد.

تصحر desertification: تكوين الصحاري عن طريق التغيرات المناخية، أو عن طريق العمليات التي يساهم فيها البشر.

إزالة السمية detocification: التحويل الحيوي لمادة سامة إلى مادة أقل سمية.

نزح الماء dewatering: العملية الفيزيائية أو الكيميائية لإزالة الماء من الأوحال أو المواد الصلبة الحيوية.

دايتوم diatom: فطر مجهري وحيد الخلية يوجد في كل أجزاء العالم.

إنتشار diffusion: (1) مزج المواد، الغازات والسوائل عادة، بسبب الحركة الجزيئية. (2) إنتشار المواد لملء الفراغ.

المحاليل المخففة dilute solutions: محلول تم إضعافه عن طريق الماء، أو الزيت، أو سائل أو مادة صلبة أخرى.

سوطيات dinoflagellates: طحالب وحيدة الخلية تعمل على التخليق الضوئي.

إحتراق اللهب المباشر direct flame combustion: توهج. يستخدم في تقنية التحكم في تلوث الهواء لحرق غازات العملية (الميثان، على سبيل المثال).

تعقيم disinfection: القتل الفعال عن طريق العمليات الكيميائية والفيزيائية للكائنات الحية ذات المقدرة على التسبب في المرض (عادة ما تستخدم الكلورة للتعقيم في عمليات معالجة مياه الصرف الصحي).

تشتت dispersion: تخفيف وإنقاص تركيز الملوثات في الماء أو الهواء. تعتمد آليات تلوث الهواء على الظروف الجوية السائدة.

الأكسجين المذاب dissolved oxygen: مقدار الاوكسجين المذاب فى جدول، أو نهر، أو بحيرة، وهو مؤشر على درجة عافية الجسم المائى ومقدرته على دعم نظام مائى بيئي متوازن.

سوائل الطور غير المائي الكثيفة (DNAPLs): تشمل سوائل الطور غير المائى الكثيفة رباعي كلوريد الكربون، وكريوسوت، وثلاثى كلوريد الإيثان، وثنائى كلوريد البنزين، ومركبات أخرى يمكن أن تلوث إمدادات المياه الجوفية.

مياه الصرف الصحى المنزلية domestic wastewater: تتكون بصورة أساسية من الفضلات البشرية، والحيوانية ، وفضلات الأغراض المنزلية، ومقادير ضئيلة من رشيح المياه الجوفية، وربما أحتوى على مقادير ضئيلة من الفضلات الصناعية.

منحنى جرعة إستجابة dose-response curve: طريقة (وسيلة) مرئية لتقدير النسبة المئوية للوفيات الى الجرعة المعطاه إعتمادا على البيانات المجمعة.

تقييم جرعة إستجابة dose-response evaluation: تقييم سمي لمدى قوة مادة كيميائية ما.

علاقة جرعة–إستجابة dose-response relationship: تستخدم من قبل علماء السموم للإعتبارات السمية.تعطى الجرعة لحيوانات الإختبار، وإعتمادا على النتيجة، تزاد أو تنقص حتى يوجد مدى تموت كل الحيوانات عند الطرف الأعلى، وتظل على قيد الحياة جميعها عند الحد الأدنى.

حوض تجفيف drainage basin: المنطقة الجغرافية التى تجفف بواسطة نهر أو جدول .

معدل الإنقضاء الأدياباتيكى الجاف dry adiabatic lapse rate: حينما ترتفع حزمة جافة من الهواء فى الجو، فإنها تمر بتمدد أدبياتيكى وبتبريد ينتج عنه معدل إنقضاء (تبريد)بمقدار درجة واحدة / 100متر، أو 1-10 درجات/ كلم.

طريقة البرج الجاف dry tower method: تقنية معالجة للتلوث الحرارى يضخ فيها الماء المسخن عبر أنابيب وتطلق الحرارة الى الجو(شبيه بأداء مبرد العربات)

مكب dump: موقع مفتوح يتخلص فيه من النفيات ومواد المهملات الأخرى بطريقة لا تحمي البيئة، ويكون عرضة للإحتراق المفتوح، أو يكون معرضاً للعناصر، والهوام، و/ أو الزباليات.

معيب التغذية dystrophic: تغذية معيبة.

علم السمية البيئية ecological toxicology: فرع علم السموم الذى يتعامل مع أثر المواد السامة ليس فقط على المجموعات البشرية بل وعلى البيئة بصورة عامة، والتى تشمل الهواء، والتربة، والمياه السطحية، والمياه الجوفية.

علم البيئة ecology: دراسة العلاقات البيئية بين كائن حى أو مجموعة من الكائنات الحية مع البيئة.

نظام بيئى ecosystem: نظام طبيعى ذاتى التنظيم من النباتات والحيوانات التى تتفاعل مع نفسها ومع بيئتها غير الحية.

علم السموم البيئى ecotoxicology: انظر علم السمية البيئية.

أسلوب الإستعادة الإلكتروليتية electrolytic recovery technique: يستخدم بصورة أساسية لإستعادة المعادن من تيارات العملية، أو لتنظيف مياه العملية ، أو لمعالجة مياه الصرف الصحى قبل تفريغها; مبنى على تفاعل الأكسدة والاختزال حيث تستخدم أسطح القطب لجمع المعادن من مجرى الفضلات.

إلكترون electron: مكون من مكونات الذرة ; ينتقل فى المدارات البعيدة حول النواة.

نظام نقل الإلكترون electron transport system: فى الإنتقال الأيضى، سلسلة من حاملات الالكترون تعمل سوية لنقل الإلكترونات من المانحات مثل NADHو $FADH_2$ إلى المستقبلات مثل الأكسجين.

الترسيب الكهروستاتيكى electrostatic precipitation: عملية تستخدم لترسيب أو ازالة الغبار أو الجسيمات الأخرى من الهواء والغازات الاخرى بطرائق إلكتروستاتيكية. يمرر تفريغ كهربى عبر الغاز، معطياً شحنة كهربية سالبة. تستخدم تستخدم الأطباق ذات الشحنة الموجبة بعد ذلك لكى تجذب الجسيمات المشحونة وتزيلها من الإنسياب السريع.

العناصر elements: أبسط مادة والتى لا يمكن فصلها إلى أجزاء بالطرق العادية هناك أكثر من 100 عنصر معروف.

الإستجابة للطوارئ emergency response: يقصد بها بصورة أساسية متطلب إدارة الصحة والسلامة المهنية تحت 29 القانون الفدرالي المنظم 120.1910 للمواقع الكيميائية، والصناعية ومواقع النفايات بأن يكون لديها إستجابة مكتوبة للطوارى في حالة حدوث أي إطلاق كيميائى، أو إنسكاب الى البيئة يمكنه أن يعرض الصحة الجيدة ورفاهية أى عامل للخطر. تتطلب وكالة حماية البيئة كذلك إستجابة للطوارى للمنشات التى تعالج، أو تنتج، أو تستخدم أى

مواد كيميائية في متطلبات إدارتها للمخاطر. ينبغى أن تشمل الإحتياطات للحرائق، والكوارث البيئية، والهجمات الإرهابية والطوارى الطبيعية أيضاً فى خطط الإستجابة للطوارئ.

النباتات الناشئة emergent vegetation: قسم فرعى من المنطقة الساحلية ; يشمل منطقة تربة خط الساحل. والمياه الضحلة التى تقع بالقرب تماما الى جوار   المنطقة التي يمكن عندها للحياة النباتية أن تضرب بجذورها تحت الما،ء وأن تنمو، وأن تظهر فوق خط الماء.

الناشئات emergents: إنظر النباتات الناشئة .

ماص للطاقة endergonic: تفاعل تمتص فيه الطاقة.

شبكة إندوبلازمية endoplasmic reticulum: داخل خلية حقيقية النواة: نظام من الأغشية عبر المنطقة السيتوبلازمية ويتشعب عبر المنطقة السيتوبلازمية ويكون حدوداً محددة، وأقسام، وقنوات تكون معزولة تماماً من السيتوبلازم ; وهو طبقة دهنية ثنائية محتوية على البروتين .

طاقة energy: نظام ذو قدرة على انتاج تغيير طبيغى فى الحالة .

انتروبيا entropy: مقياس لفوضى النظام.

بيئة environment: كل ما يحيط بالكائن الحى، ويشمل ذلك الأشياء الحية، والمناخ، والتربة،... الخ. وبتعبير آخر ، ظروف التطور والنمو.

التدهور البيئى environmental degradation: كل العوامل المحددة التى تعمل سوية على تنظيم الحجم الأقصى المسموح به أو سعة الحمل للمجموعة السكانية.

العوامل البيئية environmental factors: العوامل التى تؤثر على تطيير المركبات الهيدروكربونية من الترب. تشمل العوامل البيئية درجة الحرارة، والريح، والتبخير، وهطول الأمطار.

علم البيئة environmental science: دراسة التأثير البشرى على البيئة الفيزيائية والأحيائية للكائن الحى. وبصورة عامة، وتشمل أيضاً المناحى الإجتماعية والثقافية للبيئة.

الإنزيمات enzymes: مواد بروتينية تحفز تفاعلات الأحياء الدقيقة مثل الإضمحلال أو التخمر. لا تستنفذ هذه الانزيمات فى التفاعلات، إلا إنها تسرع من معدلها بصورة كبيرة. بإمكان الإنزيمات أن يزيد من معدل مدى واسعًا من التفاعلات، إلا أن الانزيم المعين بمقدروه أن يزيد من معدل تفاعل على ركيزه محدده.

الطبقة العليا من البحيرة epilimnion: الطبقة العليا من البحيرة; تسخن بالشمس وتكون أخف، وأقل كثافة من الماء أسفلها.

حقيقيات النواة eukaryotic: كائن حى يتميز بمنظومة خلوية تشمل غشاء خلية معرف جيداً.

الطبقة المضاءة euphotic: السطحية لمحيط او بحيرة أو أى جسم مائى آخر يصل من خلاله ضوء شمس كاف للتخليق الضوئى.

بحيرة متخثثة eutrophic lake: بحيرة بها إمداد ضخم أو فائض من مغذيات النباتات (معظمها فوسفات ونترات).

التخثث eutrophication: عملية طبيعية تستقبل فيها البحيرات مدخلات من مغذيات النباتات نتيجة للتآكل الطبيعى والجريان من الحوض الأرضى المحيط بها.

الإنبعاثات التبخرية evaporative emissions: الإنبعاثات التبخرية للوقود من أنظمة الإحتراق الداخلى المسببة بالخسائر النهارية، والنقع الساخن، وخسائر التشغيل.

التعرق التبخرى evapotranspiration: مزيج من التبخر والتعرق للماء السائل فى نسيج النبات وفي التربة الى بخار الماء فى الجو.

حفر excavation: الإزالة الفيزيائية للتربة لتشييد موقع دفن للملوثات (مكب نفايات) و/أو للتربة الملوثة بطرق ميكانيكية.

الحفر والتخلص excavation and disposal: إزالة التربة الملوثة أو التخلص النهائى.

مطلق للطاقة exergonic: إطلاق الطاقة

تقييم التعرض exposure assessment : مقياس لتقدير مقدار التعرض الحقيقى و/ أو التعرض المحتمل ، والتردد والفترة الزمنية لهذه التعرضات، والمسارات قد يتعرض البشر عن طريقها.

مسارات التعرض exposure pathways: تتكون من فئتين: (1) مسارات التعرض البشرى المباشر (2) مسارات التعرض البيئى. كلا هاتين الفئتين يقسم هو الآخر الى مسارات تعرض رئيسية وثانوية. مسارات التعرض المباشرة هى تلك التى تؤثر بصورة مباشرة على عمليات الموقع والعاملين به (التماس مع الجلد أثناء عمليات الموقع، علي سبيل المثال). مسارات التعرض الثانوية تمثل

مكوناً ثانوياً أثناء عمليات الموقع، وتبرز إنخفاضا كبيرا مع مرور الزمن ومع تقدم المعالجة (على سبيل المثال الغبار الذى تزوره الرياح).

طريقة الإستخلاص extraction procedure (EP): إختبار مختبرى قياسي يستخدم لإختبار السمية; تم إستبداله فى العام 1990 بطريقة ترشيح خصائص السمية.

بئر الإستخلاص extraction well: يستخدم لخفض مستوى المياه الجوفية،مكوناً ميلاً هيدروليكى يسحب ريشة التلوث الى البئر حتى يمكن إستخلاص الملوث.

المواد شديدة الخطورة extremely hazardous substances: مصطلح لوكالة حماية البيئة يستخدم للمواد الكيميائية التى يجب أن يبلغ عنها للسلطات المعنية فى حال إطلاقها بكميات تفوق عتبة التبليغ.

إختيارية facultative: بكتريا قادرة على النمو فى الظروف الهوائية أو غير الهوائية.

القانون الفدرالى للتحكم بتلوث الماء (FWPCA): (المعروف أيضاً بقانون الماء النظيف) يعنى بالتحكم في مقادير التلوث الداخل إلى الأجسام المائية من المصادر المدينية والصناعية، وتنظيمه.

التخمر fermentation: تفكيك المواد العضوية من قبل الكائنات الحية الدقيقة أو الإنزيمات، ترافق هذه العملية باطلاق الحرارة والغاز ويمكن أن تكون هوائية أو غير هوائية.

مخصب fertilizer: مادة تضيف المغذيات الأساسية للتربة وتجعل الأرض أو التربة قادرة على إنتاج نباتات أو محاصيل أكثر.

ترشيح filteration: تقنية تزال بها المواد العالقة فى مائع ما عن طريق إمرار الخليط عبر مرشح. تحتجز الجسيمات بواسطة المرشح بينما يمر المائع مكوناً الرشيح.

القانون الأول للديناميكا الحرارية first law of thermodynamics: فى أى تغيير كيميائى أو فيزيائى ، أو في حركة المادة من مكان لآخر، أو التغير فى درجة الحرارة، لا تنقص الطاقة ولا تنتج من العدم، بل تتحول من شكل لآخر.

السوط flagella: زائدة شبيهة بالخيط (تعطى بعض البكتريا المقدرة على الحركة) تمتد الى الخارج من غشاء البلازما و جدار الخلية.

توهج flare: إنظر إشتعال اللهب المباشر.

بطانة الغشاء المرن flexible-membrane liner (FML): بطانة مطاطية أو بلاستيكية تستخدم فى مكب النفايات الصحية.

النباتات ذات الأوراق الطافية floating leaf vegetation: جزء من المنطقة الساحلية فى بحيرة أو بركة حيث تكون جذور النباتات تحت السطح بحيث تسمح لليسقان أن تنتج أوراقاً قادرة على أن تصل إلى سطح الماء وأن تطفو فوقه.

فلوريد fluoride: تضاف أملاح الفلوريد لإمدادات مياه الشرب العامة من أجل تحسين المقاومة لتسوس الأسنان.

سلسلة غذائية food chain: سلسلة من إنتقالات الطاقة على هيئة غذاء من كائن حى فى مستوى غذائى ما لكائنات حية فى مستوى غذائى آخر، حينما يأكل كائن حى أو يفكك كائن حى آخر .

الشبكة الغذائية food web: شبكة معقدة من السلاسل الغذائية المترابطة بيئياً وتفاعلات التغذية.

وزن الصيغة formula weight: مجموع الأوزان الذرية التى تكون وحدة صيغة.

هش friable: سهل هرسه فى اليد.

جبهة front: فى الإرصاد الجوي، الحد الفاصل بين كتلتين هوائيتين ذواتا درجة حرارة

أو رطوبة مختلفة.

فرستول frustule :الجدار المميز ذو القطعتين المصنوع من السيليكا فى الدايتوم.

تدخين fumigation: ينتج عندما تتجه الإنبعاثات من مدخنة واقعة تحت طبقة إنقلاب إلى أسفل، مؤدية الى تركيز مرتفع بشدة أسفل إتجاه الريح فى المستوى الأرضى.

فطريات fungi: كائنات حية طفيلية أو رمية، قد تكون وحيدة الخلية أو مصنوعة من خيوط أنبوبية، وتفتقد إلى الكلورفيل.

قمامة garbage: الإسم العام للنفايات التى يكون مصدرها الأغراض المنزلية والتى تتكون بصورة أساسية من بواقي الخضروات والأوراق.

غاز gas: بصورة عامة، يستخدم لتسمية كل الأجسام الهوائية ، التى تظهر أدق جسيماتها نزعة للطيران بعيداً عن بعضها البعض فى كل الإتجاهات. عادة ماتوجد هذه الغازات فى هذه الحالة فى درجة الحرارة والضغط المعتادين.

يمكن إسالتها أو تحويلها الى مواد صلبة فقط بإستخدام الطرق الإصطناعية، إما عن طريق الضغط العالى او عن طريق درجات الحرارة المنخفضة جدا.

قوانين الغازات gas laws: القوانين الفيزيائية التى تعنى بسلوك الغازات. تشمل قانون بويل وقانون شارلز، التى تعنى بالعلاقات بين الضغط ، ودرجة الحرارة، والحجم لغاز مثالى (إفتراضى).

التعاقب الأحيائى العام general biological succession: العملية التى تستبدل بموجبها مجتمعات من أنواع النباتات والحيوانات فى منطقة معينة، عبر الزمن، بسلسلة من المجتمعات المختلفة التى تكون عادة أكثر تعقيدا (المعروف أيضاً بالتعاقب البيئى).

جينوم genome: المجموعة المكتملة من الجينات.

جنس genus: مجموعة من الأنواع ذات خصائص مشتركة كثيرة.

جيولوجيا geology: علم الأرض، وأصلها، وتكوينها، وبنيتها، وتاريخها.

إختبار جيو فيزيائي geophysical testing: يستخدم لتقييم الطبقات التحت سطحية، وتحديد موقع مستوى المياه الجوفية وتخريط كنتور ريشة الملوث بإستخدام مقاييس المقاومية والتوصيلية.

الغلاف الجيولوجي geosphere: يتكون من الأجزاء غير العضوية، أو غير الحية من الأرض والتى هى مسكن المادة العضوية أو الحية فى الكرة الأرضية.

الطاقة الجوفية الحرارية geothermal energy: إستخدام حرارة الأرض الطبيعية للأغراض البشرية ; شكل من الطاقة البديلة التي يصعب إستغلالها.

القوة الجوفية الحرارية geothermal power: إنظر الطاقة الجوفية الحرارية.

الإحترار العالمى global warming: الإرتفاع طويل المدى فى مدى متوسط درجة حرارة الأرض.

التحلل الكلوكوزي glycolysis: واحد من ثلاثة أطور لعملية الأيض الهدمى للجلكوز الى كربون وماء.

عينة الأخذ grab sample: عينة منفردة واحدة ماخوذة على إمتداد فترة زمنية لا تتجاوز 15 دقيقة.

غرام gram: الوحدة الاساسية للوزن فى النظام المترى ، تساوى 1000/1من الكيلو جرام، وتساوى 28.5 جراماً أوقية واحدة تقريباً.

الجاذبية gravity: قوة التجاذب التى تنشأ بين الأجسام بفضل كتلتها. على كوكب الأرض ، قوة الجاذبية هى قوة التجاذب بين أى جسم فى مجال جاذبية والأرض ذاتها .

مرسبات الجاذبية gravity settlers: تستخدم لإزالة مواد النفايات الصلبة والسائلة من التيارات الغازية . تتكون من غرفة مضخمة تبطأ فيها سرعة الغاز الأفقية بحيث يسمح للجسيمات أن تترسب بفعل الجاذبية.

أثر غاز الدفيئة green house effect: إحتباس الحرارة فى الجو ، ينفذ الإشعاع الشمسي الداخل ذو الموجة القصيرة عبر الجو ، إلا أن الإشعاع الخارج طويل الموجة يمتص بواسطة بخار الماء ، وثانى أكسيد الكربون، والأوزون ، وغازات عدة أخرى فى الجو، ثم يعاد إشعاعها إلى الأرض مسببة زيادة فى درجة حرارة الجو.

المياه الجوفية ground water: الماء المجموع فى جوف الأرض فى طبقات الصخر المسامية والتربة، والذى يبرز على السطح فى هيئة ينابيع وجداول.

الستارة الأسمنتية grout curtain: تستخدم فى العزل الموضعى للملوث ، تتكون من أسمنت بورتلاندى يحقن تحت الضغط لكى يكون حاجزاً يمنع حركة الملوث فى التربة.

نمو growth: النمو الأسى للبكتريا.

منحنى النمو growth curve: الرسم البيانى لدورات نمو البكتريا. يقسم المنحنى الى أربعة أطوار تسمى بالتخلف ،أسى، ثابت والموت. يقصد بطور التخلف والذى يتميز بإنعدام النمو أو قلته ، الفترة الإبتدائية من الزمن التى تدخل فيه البكتريا لأول مرة فى وسط جديد. يتبع ذلك فترة نمو سريع (الطور الأسى) ، بعد أن تتأقلم البكتريا مع بيئتها الجديدة، خلال هذه الفترة ، تكون الظروف الموجودة مثالية ويتضاعف عدد السكان بإنتظام كبير. مع بدء إمداد البكتريا الغذائى فى النضوب، أو مع بدء تراكم المنتجات الأيضية السامة،يدخل السكان مرحلة اللا نمو ،أو الطور الساكن. فى النهاية، مع تزايد العدوانية أكثر فأكثر فى البيئة، يتم الوصول الى طور الموت ويضمحل عنده عدد السكان.

ذرق guano: مادة مكونة بصورة أساسية من روث طيور البحر والخفافيش ، تتراكم على طول المنطقة الساحلية، أو فى الكهوف، وتستخدم كمخصب.

مسكن habitat: مكان أو نوع من أنواع الأمكنة يذدهر فيه كائن حى أو مجتمع من الكائنات الحية بصورة طبيعية.

عسر hardness: مقياس من مقاييس جودة الماء. لا يكون الماء رغوة مع الصابون بسهولة، وينتج قشرة فى الآنية، والمقالى، والغلايات، يسببها وجود أملاح كالسيوم ومغنزيوم معينة فى الإمداد المائى.

قانون/ تعديلات النفايات الخطرة والصلبة لعام 1984 (HASWA/A): جزء من قانون الحفاظ على الموارد وإستعادتها يؤكد على إستخدام تقنيات معالجة بديلة ومبتكرة ينتج عنها تدمير دائم للنفايات أو تخفيف لسميتها، وحركتها، وحجمها. التخلص الأرضي مقيد بصورة كبيرة فى تعديلات العام 1984 على قانون الحفاظ على الموارد وإستعادتها.

مادة كيميائية خطرة hazardous chemical: مادة كيميائية متفجرة، أو قابلة للإشتعال، أو سامة، أو حاتة، أو قابلة التفاعل، أو ذات نشاط إشعاعى تتطلب عناية خاصة عند التعامل معها بسبب الخطر الذي تشكله على الصحة وعلى البيئة.

مادة خطرة hazardous material: مادة موجودة بكمية ما أو في هيئة ما تشكل خطراً غير معقول على الصحة والسلامة و عندما تنقل بغرض التجارة ; مادة ملوثة بطبيعتها، وإحتواءها، وقابليتها للتفاعل لها المقدرة على التسبب فى الضرر خلال حدوث الحوادث ; مادة تتميز بكونها سامة، أو حاتة، أو ذات قابلية للإشتعال، أو ذات قابلية للتفاعل، أو مهيجة، أو ذات محسس قوي، ولذلك فهي سامة. وخطر على الصحة والبيئة حينما لا تدار بصورة مناسبة.

غرض خطر hazardous substance: مصطلح لوكالة حماية البيئة يستخدم لبعض المواد الكيمائية المدرجة التى يجب التبيلغ عنها ما أن تطلق فى البيئة بمقدار يتجاوز حداً معيناً.

نفايات خطرة hazardous waste: مواد النفايات أو مزيج النفايات التى تتطلب معالجة خاصة، كما يجب التخلص منها بسبب مقدرتها على تدمير الصحة والبيئة.

تيار النفايات الخطرة hazardous wastestream: تيار نفايات غازية أو سائلة يحتوى على أى نوع من أنواع النفايات الخطرة.

حرارة heat: وضع للمادة تسببه الحركة السريعة لجزيئاتها. يجب أن تستخدم الطاقة على المادة بمقادير كافية من أجل إحداث الحركة، ويمكن أن تستخدم بطرق ميكانيكية أو كيميائية.

التوازن الحرارى heatbalance: المقايضة الدائمة التى تحدث عندما تصل الطاقة الشمسية إلى سطح الارض ويتم إمتصاصها، ثم ينبغى إعادتها الى الفضاء من أجل الحفاظ على التوازن الحرارى المعتاد على الارض .

الجزر الحرارية heat islands: منطقة حضرية كبيرة حيث للحرارة المتولدة تأثير على درجة الحرارة المحيطة (تضيف حرارة) داخل وحوالى المنطقة.

المعادن الثقيلة heavy metals: مجموعة من العناصر تكون مركباتها سامة للبشر حينما توجد فى بيئتها ،على سبيل المثال الكادميوم، والزئبق، والنحاس، والنيكل، والكروم، والرصاص، والخارصين، والزرنيخ.

قانون هنرى henry's law: يتحكم بسلوك الغازات حينما تتماس مع الماء.

غذاء متغاير heterotroph: انظر متغاير التغذية.

متغاير التغذية heterotrophic : صنف من الكائنات الحية التى تتحصل على طاقتها بإستهلاك الأنسجة أو الكائنات الحية الأخرى.

إنزيم مكتمل holoenzyme: إنزيم كامل يتكون من مساعد إنزيم وبروتين إنزيم.

أفق horizon: طبقة من التربة موازية لسطح الأرض ، تختلف فى خواصها وخصائصها عن الطبقات المجاورة الموجودة أسفلها وفوقها.

النقع الساخن hot soak: انبعاثات تبخرية من آلة الإحتراق الداخلى بعد إغلاق الآلة.

عملية أسفلت المزج الساخن hot mix asphalt process: تقنية معالجة يستخدم فيها الملوث المجرور فى التربة فى إستخدامات مفيدة من أجل صنع الإسفلت. تضاف التربة المحملة بالبترول فى عملية إسفلت المزج الساخن كجزء من المجمع الى الإسفلت الساخن ثم تمزج لصنع المنتج النهائى.

رطوبة humidity: مقدار بخار الماء فى حجم معطى من الجو (الرطوبة المطلقة)، أو نسبة مقدار بخار الماء فى الجو الى قيمة التشبع عند نفس درجة الحرارة (رطوبة نسبية).

دبال humus: الجزء الأكثر أو الأقل ثباتاً فى المادة العضوية فى التربة الذى يتبقى بعد أن تتفكك الأجزاء الرئيسية من بقايا النباتات والحيوانات المضافة. وعادة ما يكون غامق اللون.

تدرج هيدروليكى hydraulic gradient: الفرق بين الرأس الهيدروليكى مقسوماً على المسافة على طول مسار سريان المائع. تتحرك المياه الجوفية عبر مكمنها فى إتجاه التدرج الهيدروليكى.

هيدروكربون hydrocarbon: مادة كيميائية تحتوى على ذرات كربون وذرات هيدروجين فقط. النفط الخام هو بصورة كبيرة مزيج هيدروكربونات.

الدورة المائية hydrological cycle: الطرق التى تدور بها المياه فى الغلاف الحيوى. التبريد فى الجو وهطول الأمطار على كلا اليابسة والمحيطات. يوازن التعرق التبخرى من الكتلة الأرضية والتبخر من المحيطات.

غلاف مائى hydrosphere: الجزء من سطح الأرض الذى تغطيه المحيطات، والبحار ، والبرك.

خيطيات hyphae**(جمع) خيطى** hypha **(مفرد)**: فى الفطريات ،خيط أنبوبي ينمو من القمة ويكون عدة فروع.

الطبقة السفلى من البحيرة hypolimnion: الطبقة القاعية، الباردة الكثيفة نسبياً فى البحيرة المتطبقة.

قانون الغاز المثالى ideal gas law: غاز إفتراضى يطيع قوانين الغازات بصورة كاملة فيما يخص علاقات درجة الحرارة، والضغط، والحجم.

نارى igneous: يقصد به الصخر الذى يتكون بتبريد وتصلب مادة ساخنة منصهرة.

قابلة للإشتعال Ignitability: واحد من الخصائص التي تستخدم لتصنيف مادة ما بإنها خطرة.

تصادم impaction: فى تقنية التحكم بتلوث الهواء ، عملية تجميع للجسيمات يضرب فيها مركز كتلة الجسيم الذي إنحرف مساره عن المائع ضارب الجسم الساكن، ويجمع بواسطة الجسم الساكن.

محتجز impoundment: تصنيف للبحيرات ; بحيرة مصنوعة من قبل البشر باحتجاز الماء من الأنهار ومن مستجمعات المياه.

التفكيك الحيوى الموضعى *in situ* biodegradation: يستخدم الكائنات الحية الدقيقة الموجودة فى التربة بصورة طبيعية لتفكيك الملوثات الى هيئة أخرى.

العزل/ الإحتواء الموضعى للتلوث *in situ* isolation/contamination: فى معالجة التربة، تقى هذه الطريقة من هجرة الملوثات السائلة والملوثات المحتوية على مواد مرشحه.

الرشيح الموضعى والتفاعل الكيميائى *in situ* leaching and chemical reaction: عملية معالجة تربة يستخدم فيها الماء الممتزج مع مادة نشطة سطحياً لترشيح الملوثات من التربة إلى المياه الجوفية. وتجمع المياه الجوفية بعد ذلك الى أسفل موقع الترشيح عبر نظام تجميع بغرض معالجتها أو التخلص منها.

التخلص السلبى الموضعى *in situ* passive remediation: أسلوب المعالجة الأكثر سهولة من حيث التطبيق، وأقلها تكلفة بسبب أنه لا يشمل أى فعل على الموقع، إذ أنه يدع الطبيعة تقوم بالعمل، إلا أنه أسلوب غير مقبول عادة أو بيسر لدى السلطات المنظمة.

التزجيج الموضعى *in situ* vetrification: يستخدم تياراً كهربائياً بإمرار أقطاب مدفوعة نحو التربة تنتج حرارة شديدة وتحول التربة الى مادة زجاجية متينة. تفحم المكونات العضوية فى الصهير، وتهاجر إلى السطح حيث تحترق فى وجود الأكسجين. ترتبط المواد العضوية فى التربة بصورة فعالة بالزجاج المتصلب.

التطيير الموضعى *in situ* volatilization: يعرف بصورة شائعة بتعرية الهواء، هذه العملية تستخدم تيارات الهواء المدفوعة، أو المسحوبة عبر التربة الموجودة فى الموقع من أجل إزالة المركبات المتطايرة.

ترميد incineration: استخدام درجات الحرارة المرتفعة (800-3000 درجة فهرنهايت) لتكسير النفايات العضوية الى هيئات أبسط، ولإختزال حجم النفايات الذى يحتاج أن يتخلص منه. يمكن إستعادة الطاقة من حرارة الترميد.

حوصلة inclusion: حبيبات تخزين ترى عادة داخل الخلايا البكترية.

الممارسات الصناعية industrial pratices: الممارسات التى تؤدى الى تلوث التربة وتشمل أحواض التخزين الجوفية ، ومواقع حقول النفط ، والمواقع الكيميائية، ومواقع الحرارة الجوفية، ومنشآت الغاز المصنع، ومواقع التعدين، والإرهاب البيئى.

نفايات الصرف الصناعي infiltration galleries: النفايات السائلة التى تنتجها الصناعة.

معابر الترشيح infiltration galleries: تقنية مستخدمة فى عملية التفكيك الحيوى الموضعى من أجل إعادة إدخال المياه الجوفية الى التربة، أو إلى مكمن المياه الجوفية.

الأشعة تحت الحمراء infra red radiation: شعاع كهرومغنطيسى غير مرئى ذو طول موجى يترواح بين 0.75 ميكرومتر الى 1 ملم – بين حد الطرف الأحمر للطيف المرئى وأقصر الموجات الميكروية.

بئر الحقن injection well: فى معالجة المياه الجوفية ، يستخدم لرفع مستوى المياه الجوفية ولدفع ريشة الملوثات بعيداً من نظام المياه الصالحة للشرب(بئر).

تقنية التنظيف المبتكرة innovative cleanup technology: أى تقنية معالجة تربة جديدة أو تحت التطوير.

مواد غير عضوية inorganic substances: مادة ذات أصل معدنى لا تحتوى على مركبات الكربون بإستثناء الكربونات والكربيدات ،... الخ.

تشميس insolation: مقدار الإشعاع الشمسى المباشر الواقع على وحدة المساحة الأفقية عند مستوى معطى.

المصادر المؤسسية للنفايات الصلبة المدينية institutional source of MSW:النفايات المنتجة فى المستشفيات، والمدارس، والمعتقلات والسجون ومراكز الحكومة.

إعتراض interception: فى تقنية تجميع الجسيمات ، يحدث الإعتراض عندما يخطئ مركز كتلة الجسيم الجسم بمسافة قريبة، ولكن وبسبب حجمه المحدود يصطدم الجسيم بالجسم ويتم تجميعه عليه.

بند التجارة بين الولايات interstate commerce clause: البند من دستور الولايات المتحدة الذي صادقت على أساسه الحكومة الفدرالية على قانون الأنهار والمرافئ لعام 1988، ومكنت بذلك وحدة مهندسي مهندسى الجيش الأمريكى من تنظيم ، وفى بعض الحالات، تحريم ممارسات الرمى للنفايات الخاصة والمدينية.

الروابط الأيونية ionic bonds: رابطة كيميائية تكون فيها الإلكترونات قد إانتقلت من ذرة ذات جهد تأين منخفض إلى ذرات ذات ألفة إلكترونية عالية.

ري: إمداد مائى إصطناعى للمناطق الزراعية الجافة ينتج عن طريق الخزانات والقنوات.

خط تساوى الضغط isobar: خط مرسوم على الخرائط وخرائط الطقس يصل بين جميع الأماكن ذات الضغط الجوى المتساوى (يقاس عادة بالملى بار).

التيار النفاث Jet stream: نطاق ضيق من الريح السريعة جدا الموجودة على إرتفاعات تتراوح ما بين 6-10 أميال فى الطبقة العليا من الجو أو في الإستراتوسفير الأدنى.

كلفن Kelvin: مقياس حرارة يستخدمه العلماء يبدأ عند الصفر المطلق ويزيد بنفس الفروقات بين الدرجات كما هو الحال فى المقياس المئوى; أى أن 0 درجة مئوية هى ذاتها 273 كلفن، و100 درجة مئوية هى ذاتها 373 كلفن.

دورة كربس أو دورة حمض الستريك Krebs cycle or citric acide cycle: الجزء الأخير من سلسلة تفاعلات كيميائية حيوية تفكك عن طريقها الكائنات الحية الطعام بإستخدام الأكسجين لكى تطلق الطاقة (تنفس) .

زراعة الأرض land farming: إسم اخر لمعالجة الأرض حيث تنتشر ملوثات متنوعة على التربة وتوزع على السطح وعلى الطبقة التحت سطحية لكى تسمح للتفكيك الحيوى بأن يحدث.

معالجة الأرض land treatment: إنظر زراعة الأرض.

مكب النفايات landfill: موقع للتخلص من النفايات إختير بدون وضع إعتبار للتلوث المحتمل منه للمياه الجوفية والمياه السطحية الناتج من الجريان ومن الترشيح ; تغطى النفايات بصورة متقطعة بطبقة من التراب. للتقليل من مشاكل الرميات، والمشاكل الجمالية، ومشاكل الأمراض وتلوث الهواء.

كب النفايات land filling: طريقة التخلص النهائية حيث يتخلص فيها من النفايات الصلبة والخطرة برميها في مواقع الحفر.

معدل الإنقضاء lapse rate: معدل تغير درجة الهواء مع تزايد الإرتفاع.

الحرارة الكامنة للإنصهار latent heat of fusion: مقدار الحرارة المطلوبة لتحويل واحد جرام من المادة من الطور الصلب الى الطور السائل عند نفس درجة الحرارة.

الحرارة الكامنة للتبخير latent heat of vaporization: مقدار الحرارة المطلوبة لتحويل واحد جرام من المادة من الطور السائل الى الطور الغازي عند نفس درجة الحرارة.

قانون الحفاظ على الكتلة law of conservation of mass: فى أى تغيير فيزيائى أو كيميائى عادى، لا تفنى الكتلة ولا تستحدث من العدم ولكن تتحول من صورة لأخرى.

التاثير المسهل laxative effect: يقود إستهلاك الماء العسر المجموع فى وجود كبريتات المغنزيوم فى بعض الاحيان الى حدوث أثر مسهل لدى المستهلكين الجدد.

سوائل الرشح leach liquors: يقصد بها السائل التي ترشح من مادة ما نتيجة لدوران الماء عبرها أو فوقها .

الرشيح leachate: السائل المتكون حينما تتخلل مياه الأمطار نفايات المكبات الى أسفل، حاملة معها الملوثات التى قد تدخل الى البيئة المحيطة.

رصاص lead: معدن ثقيل، قد يؤدى تراكمه فى الأنسجة العضوية إلى تغيرات سلوكية، وعمى، وربما قاد فى النهاية إلى موت البشر والحيوانات.

قشرة منجم الرصاص lead-mine scale: تحدث بصورة عامة فى معدات عملية الحرارة الجوفية مثل الأنابيب حيث يؤدى نمو القشرة الى فشل المعدات.

أحواض التخزين الجوفية المسربة leaking underground storage tanks (LUST): صندوق دعم تنظيف أحواض التخزين الجوفية فى الولايات المتحدة للعام 1986 .

راكدة lentic: مياه هادئة . بحيرات وبرك ومستنقعات.

محدود limited: مغذيات محددة مثل الكربون والنتروجين والفسفور.

عامل محدد limiting factor: مثل درجة الحرارة، والضوء، والماء، أو مادة كيميائية تحد من وجود، أو نمو، أو وفرة، أو توزيع كائن حى ما.

مغذى محدد limiting nutrient: إنظر محدد.

جارية limnetic: الطبقة المفتوحة للمياه السطحية حيث يوجد ضوء شمس كاف لعملية التخليق الضوئى.

علم المياه العذبة limnology: دراسة البحيرات والاجسام المائية العذبة الأخرى من حيث أحيائية أجسامها النباتية الحيوانية، وخواصها الفيزيائية.

سائل liquid: حالة من حالات المادة تقع بين الحالة الغازية والحالة الصلبة.

لتر litre: وحدة حجم مترية تساوى دسم مكعب واحد(1.76 نصف لتر)

القشرة الأرضية lithosphere: قشرة الأرض- طبقة التربة والصخور التي تكون القشرة الأرضية.

نفايات litter: المادة العضوية السالمة والمتحللة جزئيا الواقعة أعلى التربة ; المواد المتخلص منها بدون إعتبار للبيئة.

ساحلى littoral: المنطقة الضحلة من المياه قرب شاطئ جسم مائى.

سوائل الطور غير المائى الخفيفة (LNAPLs): تشمل سوائل الطور غير المائى الخفيفة الجازولين، وزيت التسخين، والكيروسين.

الطفال الرملى loam: إسم الصنف القوامى للتربة التى بها مقادير معتدلة من الرمل، والغرين، والطين. تحتوى تربة الطفال الرملى على 7-27 % طين، 50-28% غرين، و 23-52 % رمل.

جارية lotic: أنظمة المياه العذبة الجارية، الأنهار والجداول على سبيل المثال.

ماغما magma: المادة الصخرية المصهوره داخل جوف الأرض.

عوامل الإدارة management factors: تقنيات الادارة (التخصيب، الرى، الخ)المستخدمة فى إدارة الأرض والتربة والتى تعمل على إنقاص الترشيح، وزيادة تراكيز ملوثات سطح التربة، أو تعمل على الزيادة القصوى لتهوية التربة ضد التطيير.

شهادة بيان manifest :إنظر نظام التعقب.

كتلة mass: كمية المادة ومقياس لمقدار طاقة الوضع الذى يمتلكه الجسم.

معادلات موازنة الكتلة mass balance equations: تستخدم لتعقب الملوثات من مكان لآخر.

إتزان المواد materials balance: قانون الحفاظ على الكتلة / المادة الذى يقول أن على كل شئ أن يذهب الى مكان ما، غير أنه لا يخلق من العدم ولا يفنى أثناء ذلك.

بركة ناضجة mature pond: بركة وصلت الى حد النضج، تتميز بكون قاعها مفروشاً بالرسوبات الغنية، وبنباتات مائية تمتد إلى خارج الماء المفتوح، وبوجود تنوع عظيم للبلانكتون، واللافقاريات، والأسماك.

المستويات القصوى للملوث maximum contaminant levels (MCLs): معيار أساسي لمياه الشرب والمستويات القصوى المسموح بها للملوث إعتمادا على المعايير ذات الصلة بالصحة.

المنتوج المستدام الأقصى macimum sustainable yield: أعلى معدل يمكن إستخدام الموارد المتجددة عنده بدون إعاقة أو تدمير مقدرته على التجدد الكلى.

درجة الإنصهار melting point: درجة الحرارة التى تتحول فيها المادة من صلبة الى سائلة.

البحيرات الممتزجة جزئياً meromictic: بحيرات متطبقة كيميائياً تكون فيها المواد الكيميائية المختلفة المذابة ممزوجة جزئيا.

ميزوسوم mesosome: بنية داخل خلوية شائعة توجد فى سيتوبلازم البكتريا; إنغلاف غشاء البلازما فى شكل أنابيب صغيرة، أو حويصلات، أو صفاحات.

الميزوسفير أو الجو الأوسط mesosphere: طبقة جوية تمتد من أعلى الإستراتوسفير إلى حوالى 56 ميلاً فوق سطح الأرض.

بحيرة متوسطة التغذية mestorophic lake: مصطلح يستخدم للتميز بين البحيرات شحيحة الغذاء والبحيرات المتخثثة.

تحول أيضى metabolic transformation: يقصد به النشاط الشبيه بخط التجميع الذى يحدث فى الكائنات الحية أثناء معالجة المواد الخام وتحويلها إلى منتجات نهائية.

أيض metabolism: العمليات الكيميائية للكائنات الحية ; التحول مستمر للبناء والهدم. على سبيل المثال تبني النباتات الخضراء مواد عضوية معقدة من الماء وثانى أكسيد الكربون والأملاح المعدنية (عملية التمثيل الضوئى); تفكك الحيوانات المواد العضوية المعقدة المبلوعة كطعام عن طريق الهضم، وتعيد تخليقها فيما بعد فى أجسامها هى .

أشباه الفلزات metalloids: عناصر لها خواص فلزات وخواص غير الفلزات.

فلزات metal: العناصر التى تميل إلى فقدان الإلكترونات من أغلفتها الخارجية.

صخور متحولة metamorphic: نوع من الصخور يتكون حينما تسخن الصخور الواقعة تحت سطح الأرض الى درجة فقدانها لبنيتها البلورية الأساسية. مع تبريد الصخرة ، تتكون هيئة بلورية جديدة.

علم الأرصاد الجوى meteorology: الملاحظة العلمية للجو ودراسته بحيث يمكن التنبؤ بأوضاع الطقس بدقة.

متر meter: معيار الطول فى النظام المترى يساوى 39.37 بوصة أو 3.28 قدم.

ميثان methane (CH_4): أبسط الهيدروكربونات من سلسلة البرافينات. مادة عديمة اللون والرائحة وأخف من الهواء ، يحترق بلهب مزرق وينفجر حينما يمزج مع الهواء أو الأكسجين. الميثان هو واحد من غازات الدفيئة.

مجتمع الأحياء الدقيقة microbial community: مجتمع الأحياء الدقيقة الموجودة لتفكيك الملوثات فى التربة.

التفكيك بواسطة الأحياء الدقيقة microbial degradation: العملية الطبيعية التى يمكن لبعض الميكروبات المعينة فى التربة أن تفكك بها الملوثات إلى مكونات غير ضارة.

علم الأحياء الدقيقة microbiology: دراسة الكائنات الحية التى لا يمكن أن ترى إلا تحت المجهر.

مزابل middens: أكوام الروث البدائية أو كومات النفايات.

التخلص الغير قانونى من النفايات midnight dumping: التخلص الغير قانوني من النفايات الخطرة برميها فى البيئة .

نفايات التعدين mining waste: التراب والصخور (شاملة المعادن والمواد الكيمائية الموجودة بها) من المناجم والتى تم تخلص منها لأن محتواها من الوقود قليل جداً بحيث لا يبرر إستخلاصه. تمثل هذه النفايات مشكلة بيئة إذا رشحت منها مواد سامة الى النهر، أو الجدول، أو المياه الجوفية، أو التربة.

ميتو كندريا mitochondria: جسم مجهرى موجود فى خلايا جميع الكائنات الحية تقريباً ويحتوى على إنزيمات مسؤولة عن تحويل الغذاء إلى طاقة يمكن إستخدمها.

خليط mixture: فى الكيمياء، مادة تحتوى على مركبين أو اكثر ما زالا محافظين على خواصهما الكيميائية والفيزيائية المنفصلة.

المصادر المتنقلة mobile sources: المصادر غير الثابتة للملوثات الغازية وتشمل المتحركات، والمركبات، والسفن والطائرات.

تحريك mobilization: تحريك المواد فى التربة بسبب حموضة مياه الأمطار.

نمذجه modeling: يقصد بها إستخدام التمثيلات الرياضية لتشتت الملوث ونقله، من أجل تقدير تراكيز الملوثات فى الهواء المحيط.

التركيز المولارى (المولارية)molar concentration (molarity): فى الكيمياء محلول يحتوى على مول من المادة فى لتر من المحلول*.

مول mole: وحدة نظام عالمى لمقدار المادة. مقدار المادة التى تحتوى عدد من الجسيمات الأولية يطابق عدد الذرات فى 12 جم من الكربون–12.

الوزن الجزيئي molecular weight: وزن جزئى واحد من المادة بالنسبة الى الكربون–12 معبراً عنه بالجرامات.

جزيئ molecule: الجسم الاساسى الذى يميز المركب. يتكون من مجموعة من الذرات مربوطة مع بعضها البعض بروابط كيميائية.

آبار المراقبة monitor wells: آبار منصوبة مصممة خصيصا لكى توفر طريقة لمراقب ريش الملوث فى التربة / المياه الجوية.

مراقبة monitoring: عملية تتعقب فيها الملوثات.

بروتوكول مونتريال Montreal Protocol: يتطلب من الدول الموقعة عليه أن تخفف من إستهلاكها للكلوروفلوروكربونات بنسبة 20 % بحلول العام1993، وبنسبة 50 % بحلول العام 1998.

تحول الشكل الظاهري morphogenesis: التطور التطورى لبنية كائن حى أو جزء منه.

حركة motility: حركة الكائن الحى; مقدرته على الحركة.

مصادر الخدمات المدينية للنفايات المدينية الصلبة municipal services sources of MSW: النفايات المتولدة عن المطاعم، والفنادق، والمحلات، والنزل، ومحطات الخدمة، ومحلات التصليح، ومبانى المكاتب، ومحلات الطباعة.

النفايات المدينية الصلبة municipal solid wastes (MSW): النفايات المشتقة من مصادر مدينية، وتشمل الورق، ونفايات الباحات، والزجاج، والمعادن، والبلاستيك.

المسيليوم mycelium: كتلة خيوط منسوجة فيما بينها شبيهة بالخيط أو بالخيط الفطري تكون الجسم الأساسي لمعظم الفطريات. البنى التكاثرية أو"الأجسام المثمرة" النامية من المسيليوم.

علم الفطريات mycology: فرع علم النبات المعنى بدراسة الفطريات.

معايير جودة الهواء المحيط الوطنية National Ambient Air Quality Standards (NAAQS): أرسيت من قبل وكالة حماية البيئة على مستويين أساسي وثانوى. المعايير الأساسية يجب أن توضع عند مستوى يحمى الصحة العامة ويشمل " هامشا كافياً للسلامة"، بغض النظر عن إمكانية إستيفاء المعايير بسبب عوامل إقتصادية أو تقنية. ينبغى أن توفر المعايير الأساسية الحماية لأكثر الأفراد حساسية، ويشمل ذلك كبار السن وأولئك الذين يعانون من مشاكل صحية تنفسية. قصد من معايير جودة الهواء الثانوية أن تكون أكثر

صرامة من المعايير الأساسية .أرسيت المعايير الثانوية من أجل حماية الرفاهية العامة (على سبيل المثال، حماية المباني، والمحاصيل، والحيوانات، والأنسجة).

قائمة الأولويات الوطنية National Priorities List (NPL): تتعرف قائمة الأولويات الوطنية على أسوأ مواقع النفايات فى الأمة، إعتماداً على عوامل مثل كميات وسمية النفايات ذات الصلة، ومسارات التعرض، وعدد الناس الذين يحتمل أن يكونوا معرضين، وأهمية ومدى حساسية المياه الجوفية الموجودة الى الأسفل .

السابحات nekton: فى البيئة المائية، كائنات حية تسبح بحرية.

السطحيات neustons: كائنات حية تعيش على السطح .

الجو الثابت بصورة طبيعية neutrally stable atmosphere: صنف متوسط بين الظروف الثابتة وغير الثابتة. سوف يسبب إتخاذ ريشات المداخن شكلاً مخروطيا مع إنتشار أطراف الريشة فى شكل الحرف V.

نيوترون neutron: جسيم أولى له تقريباً نفس كتلة البروتون إلا أنه عديم الشحنة. وهو مكون واحد من مكونات نواة الذرة.

موضع niche: الدور الوظيفى للكائن الحى فى مجتمعه – الوصف البيئى المكتمل للأنواع المنفردة (ويشمل المسكن، ومتطلبات التغذية،...الخ).

نترات nitrates: فى تلوث المياه العذبة ، مغذى يأتى من مخصب، ويدخل إلى النظام المائى، ويمكن أن يكون ساماً للحيوانات وللإنسان إذا كانت تراكيزه مرتفعة بما يكفى.

نترتة nitrification: العملية التى تحدث فى التربة عندما تؤكسد البكتريا النشادر وتحولها إلى نترات.

دورة النتروجين nitrogen cycle: دورة النتروجين الطبيعية عبر البيئة.

ثانى أكسيد النتروجين(NO_2) nitrogen dioxide: غاز بنى محمر شديد السمية ذو رائحة نفاذة . واحد من سبع أكاسيد نتروجين معروفة تشارك فى تكوين الضبخان الضوء كيميائى، ويؤثر بصورة أساسية على النظام التنفسى.

تثبيت النتروجين nitrogen fixation: تنجز الطبيعة تثبيت النتروجين عن طريق البكتريا المثبتة للنتروجين.

أكسيد النتروجين nitrogen oxide (NO): غاز عديم اللون يستخدم فى التخدير; تكونه بكتريا التربة من تفكيك المواد النتروجينة.

التقانة غير الموضعية non-*in situ* technology: تقنية إعادة تدوير ومعالجة تحدث بعيداً من موقع التلوث.

عسر غير الكربونات noncarbonated hardness: خاصية للماء حيث لا يمكن إزالة عسر الماء عن طريق الغليان و يصنف على أنه مستدام.

لا فلز nonmetal: عنصر يميل الى إكتساب الإلكترونات لكى يكمل غلافه الخارجى.

مصدر غير نقطى nonpoint source: مصدر تكون النفايات المطلقة منه غير مطلقة من نقطة واحدة معينة يمكن التعرف عليها بل من عدد من النقاط المنتشرة التي يصعب التعرف عليها والتحكم بها.

تلوث المصدر غير النقطى nonpoint source pollution: تلوث لا يمكن تعقبه الى مصدر محدد بدلاً عن ذلك يأتى هذا التلوث من عدة مصادر عامة.

مصادر غير متجددة non renewable resources: مصادر توجد بإمداد محدود أو تستهلك بمعدل أسرع من المعدل الذى يمكن تجديدها به.

النفايات ذات المصادر غير المعينة non-specific source wastes: النفايات العامة التى عادة ما تنتج فى العمليات الصناعية، وعمليات التصنيع، على سبيل المثال المذيبات المستهلكة.

نوية nucleotide: المنطقة النووية البدائية فى الخلية بدائية النمو.

دورات المغذى nutrient cycles: إنظر الدورات الكيميائية الحيوية.

مغذيات nutrients: عناصر أو مركبات يحتاج اليها من أجل بناء، ونمو، وتكاثر النبات أو الحيوان.

تغذية nutrition: عملية تغذية شخص ما أو التغذية من قبل شخص ما.

بحيرة شحيحة الغذاء oligotrophic lake: بحيرة ذات إمداد منخفض من المغذيات النباتية.

عضى organelle: عضو متخصص من الخلية يعمل بطريقة مشابهة للعضو.

الكيمياء العضوية organic chemistry: فرع الكيمياء المعنى بمركبات الكربون.

مادة عضوية organic matter: أى مادة تحتوى على الكربون.

مواد عضوية organic substances: تشمل المواد المحتوية على الكربون، والهيدروجين (عادة) سواء كانت طبيعية أو صناعية (مخلقة). كل المادة الحية مصنوعة من جزيئات عضوية.

الرعى الجائر overgrazing: إستهلاك نباتات فى منطقة رعى (مرعى) بواسطة الحيوانات التي ترعي إلى درجة لا تمكن النباتات من التجديد، أو تجددها بمعدل يقل عن معدل إستهلاكها.

أكسدة oxidation: العملية التى تفقد بها الإلكترونات.

أكسدة–اختزال oxidation-reduction: عملية الاكسدة والاختزال التى تفقد فيها الالكترونات وتكتسب.

يؤكسد oxidize: الإتحاد مع الأكسجين.

الأكسجين oxygen: عنصر يتحد بسهولة مع المواد.

منحنى تخلف الأكسجين oxygen sag curve: محتوى الأكسجين فى نظام جدول أو نظام نهرى بعد إحداث تلوث فى الجسم المائى، يسبب التلوث العضوى زيادة فى نمو الكائنات التى تميل لإنقاص مقدار (تخلف) الأكسجين المتاح.

أوزون ozone: المركب O_3 . يوجد بصورة طبيعية فى الجو وفى طبقة الأوزون ، مكون من مكونات الضبخان الضوءكيميائى.

ثقوب الأوزون ozone holes: ثقوب أحدثت فى طبقة الأوزون بسبب المواد الكيميائية ،و بالأخص الكلوروفلوروكربونات.

البرج المعبأ packed tower: طريقة معالجة(منقى) تستخدم لتنظيف تيارات النفايات الغازية عن طريق تعريض مجرى النفايات لوسط حيوى أو عوامل تنقية كيميائية.

طفيلى parasite: مستهلكات أساسية، أو ثانوية، أو عليا تتغذى على نبات أو حيوان يعرف بالمضيف لفترة ممتدة من الزمن.

المادة الأم parent material: المعادن او المادة العضوية المدمجة والمجواه كيميائيا بصورة اقل او اكثر والتى تطور منها عمليات وحدات التربة التربات.

المادة الدقائقية particulate matter: يقصد بها عادة الغبار ، والأبخرة ; تنتقل بسهولة عبر الهواء.

باسكال pascal: وحدة ضغط تساوى نيوتن واحد / المتر المربع.

ممرض pathogen: أى كائن حى مسبب للمرض.

عالم التربة pedologist: الشخص الذى يدرس التربات.

غشاء اليوغلينا الخارجي pellicle: بنية اليوغلينا التي تسمح لها بالتلوي والحركة.

مدة period: فترة زمن جيولوجى وهى قسم من الحقبة ومكونة من عهود ; صف أفقى فى الجدول الدورى يحتوى على عناصر لها نفس الطاقة تقريباً.

القانون الدورى periodic law: خواص العناصر هى دالة دورية للإعداد الذرية.

الجدول الدورى periodic table: قائمة بكل العناصر مرتبة على أساس تزايد أوزانها الذرية ومجمعة على أساس خصائصها الفيزيائية والكيميائية فى "دورات" ; مبنية على أساس القانون الكيميائى الذى ينص على أن الخواص الكيميائية والفيزيائية للعناصر هى دالة فى أوزانها الذرية.

بركة دائمة permenant pond: فى الواقع هذه التسمية خاطئة إذ ما من بركة دائمة . بركة ضحلة بما يكفى للنباتات المائية أن تخترق السطح على إمتداد كتلتها جميعا ; كتلة البركة الدائمة ليست كبيرة بحيث تسمح بتكوين أمواج ضخمة يمكنها أن تؤدى الى تآكل خط الشاطئ; ليس للبحيرات الدئمة تطبق حرارى، بدلاً عن ذلك، لها تدرج لدرجات الحرارة من السطح الى القاع.

نظام السماح permitting system: عنصر أساسى فى قانون الحفاظ على الموارد وإستعادتها هو نظام السماح الذى يعمل على ضمان التشغيل الآمن للمنشآت التى تعالج، أو تخزن، أو تتخلص من النفايات الخطرة.

مصدر دائم perpetual resource: مصدر مثل الطاقة الشمسية، يأتى بصورة أساسية من مصدر لا ينفد ، ولذلك سوف يظل متوفراً دائماً بالنسبة للمقياس الزمني البشرى بغض النظر عما إذا كان مستخدماً أو كيفية إستخدامه.

مادة باقية persistant substance: منتج كيميائى ذو ميل للبقاء فى الطبيعة لفترة زمنية طويلة، البلاستيك على سبيل المثال.

مبيد آفات pesticide: أى مادة كيميائية مصممة لكى تقتل الأعشاب الضارة، والحشرات، والفطريات، والقوارض والكائنات الحية الأخرى التى يعتبرها البشر غير مرغوب فيها .

أس هيدروجيني pH: وصف مسمى رقمى للحموضة والقاعدية النسبية ، قيمة 7 على الأس الهيدروجيني تعد مؤشراً على تعادلية دقيقة، بينما تعد قيم الأس الهيدروجيني العالية مؤشراً على القاعدية وقيمه المنخفضة على الحموضة.

فوسفات phosphate: مادة مغذية يتحصل عليها من المخصبات.

دورة الفسفور phosphorous cycle: دورة حيوية كيميائية جيولوجية كيميائية يتحول فيها الفسفور إلى أشكال كيميائية عدة وينتقل عبر الغلاف الحيوى.

تفاعل كيميائى ضوئى photochemical reaction: تفاعل مستحث بوجود الضوء.

ضبخان كيميائى ضوئى photochemical smog: خليط معقد من ملوثات الهواء منتجة فى الضوء بتفاعل الهيدروكربونات وأكاسيد النتروجين تحت تأثير الضوء.

التمثيل أو التخليق الضوئى photosynthesis: عملية معقدة تحدث فى خلايا النباتات الخضراء، حيث تستخدم طاقة الإشعاع الشمسى لجمع ثانى أكسيد الكربون (CO_2) والماء (H_2O) لإنتاج الأكسجين (O_2)وسكر بسيط مثل الجلكوز أو جزئيات غذاء.

تغيير فيزيائى physical change: العملية التى تغير خاصية فيزيائية واحدة أو أكثر لعنصر أو مركب دون أن تغير من تركيبه الكيميائى. تشمل الأمثلة تغيير حجم وشكل عينة من المادة، وتغيير عينة من المادة من حالة فيزيائية إلى أخرى.

تجوية فيزيائية physical weathering: التغيرات الفيزيائية المنتجة فى الصخور بالعوامل الجوية(الرياح ، هطول الامطار ، الحرارة ، البرد...، الخ).

المجتمع الرائد pioneer community: المجموعة الأولى المدمجة بنجاح من النباتات، والحيوانات، والمفككات الموجودة في منطقة تمر بمرحلة تعاقب بيئي أساسي.

فشل الأنابيب piping failure: فشل شائع لمكون من مكونات العدة فى عدد من الأنظمة المختلفة ، وفى هذه الحالة أكثر الأسباب شيوعا لإنسكابات أحواض التخزين الجوفية.

بلانكتون plankton: كائنات حية نباتية وحيوانية طافية مجهرية فى البحيرات، والأنهار، والمحيطات.

بلانكتونى planktonic: إنظر بلانكتون.

غشاء بلازمى plasma membrane: إنظر غشاء الخلية.

برج الطبق plate tower: فى منقيات الغازات عن طريق الإمتصاص ، تحتوى أبراج الأطباق على أطباق أو صوانى مثقبة أفقية مصممة لكى توفر منطقة تماس كبيرة للوجه البيني بين السائل والغاز. يرتفع تيار الهواء الملوث عبر الثقوب فى كل طبق ; يمنع الغاز المرتفع السائل من التجفيف عبر الفتحات بدلاً من التجفيف عبر الأنبوب السفلى . أثناء التشغيل المتواصل، يحافظ على التماس بين الماء والهواء، الشئ الذى يسمح بإزالة الملوثات الغازية وبروز الهواء النظيف من قمة البرج.

تشكيل الريشة plume:1. عمود من المنتجات الغير قابلة للإشتعال المنبعثة من الحرائق أو من المداخن،2. سحابة دخان لها مقدرة على الطفو،3. تشكيل ملوث ينتشر عبر الطبقة التحت سطحية.

مصادر نقطية point sources: موصلات يمكن تبينها، تشمل الأنابيب، والخنادق، والمجارى، وقنوات المجارى، والأنفاق التى تفرغ منها الملوثات.

التلوث من المصادر النقطية point source pollution: تلوث يمكن تعقبه إلى مصدر يمكن التعرف عليه.

تلويث pollute: إعاقة جودة جزء من البيئة بإضافة شوائب ضارة.

بركة pond: جسم ساكن من الماء أصغر من البحيرة، ويكون عادة ذو بناء إصطناعى.

تعاقب البركة pond succession: عملية تحول البركة حيث تتكون بركة شابة وتتطور عبر الزمن الى بركة ناضجة ثم تتحول الى بركة مسنة (عجوز).

منطقة الحوض pool zone: فى جسم مائي متحرك (نهر أو جدول) منطقة الماء الهادئ أو الساكن.

تنفيس علبة المرافق الإيجابى positive crankcase ventilation: تقنية تستخدم للتحكم فى إنبعاثات علبة المرافق.

المعالجة الابتدائية preliminary treatment: فى مياه الصرف الصحى: تشمل المعالجة السابقة للمعالجة الأساسية. فى التطبيقات الصناعية، المعالجة القبلية لتيار النفايات قبل أن تصبح دفق منشأة ثم دفقاً داخلاً إلى منشأة معالجة مياه صرف صحى بغرض المعالجة الإضافية.

الضغط pressure: القوة على وحدة المساحة.

قوة مدرج الضغط pressure gradient force: تغير الضغط بتغير الموقع.

المستهلكات الأولية primary exposure pathways: فى السلسلة الغذائية، الكائنات الحية التى تستهلك الكائنات المنتجة (ذاتيات التغذية).

مسارات التعرض الأولية:في معالجة الموقع، مسارات التعرض التي تؤثر بصورة مباشرة على عمليات الموقع والعاملين فيه، أو تؤثر بصورة مباشرة على مستويات التنظيف التي يتوجب الوصول إليها بإستخدام تقنية المعالجة.

الملوثات الأساسية primary pollutants: الملوثات التى تبعث مباشرة الى الجو، حيث تمارس تاثيرا سلبياً على صحة البشر وعلى البيئة. الملوثات الست الأولى هى ثانى أكسيد الكربون ، وأول اوكسيد الكربون ، وأكاسيد الكبريت ، وأكاسيد النتروجين ، والهيدروكربونات، والدقائق. كل هذه الملوثات عدا ثانى أكسيد الكربون خاضعة للقوانين المنظمة فى الولايات المتحدة.

المعايير الأساسية primary standards: معايير جودة الهواء فى قانون الهواء النظيف التى تغطى ملوثات الخصائص.

المعالجة الأساسية primary treatment: عملية معالجة لمياه الصرف الصحى تستخدم فيها المعالجة الميكانيكية من أجل فصل المواد الصلبة الضخمة، وترسيب العوالق الصلبة.

كاذبة النواة procaryotic: نوع من أنواع الخلايا البدائية التى تفتقد الى نواة ذات غشاء محدد .

المنتجات producers: كائنات حية تستخدم الطاقة الشمسية (نبات أخضر)،أو الطاقة الكيميائية (بعض البكتيريا) من أجل تصنيع موادها العضوية الخاصة بها (الغذاء) من المغذيات الغير عضوية.

الطبقة المائية المعتمة profundal: منطقة الماء العميق فى البحيرة ، وهي منطقة لا ينفذ إليها ضوء الشمس.

بروتون protone: مكون من مكونات النواة، ذو كتلة تعادل 2000 مرة كتلة الإلكترون، يختلف عن النيوترون بأن له شحنة موجبة واحدة. العدد الذرى للذرة يساوى عدد البروتونات في نواتها.

بروتوزوا protozoa: كائنات حية منفردة الخلية ، تشمل أكثر أنواع الحياة بدائية.

نظام بئر الضخ pumping well system: فى سياق تقنية التحكم فى تلوث أحواض التخزين الجوفية المسربة، الطريقة المفضلة لإستعادة المنتج الحر من مستوى المياه الجوفية حينما يكون الإنسكاب عميقا.

إشعاع radiation: إنبعاث الطاقة من الذرة فى شكل جسيمات من الأمواج الكهرومغنطيسية. أمواج طاقة تنتقل بسرعة الضوء وعند وصولها للسطح إما أن تمتص، أو تنعكس، أو تبث.

الإنقلابات الإشعاعية radiative inversions: في إنقلابات درجة حرارة ، ظاهرة ليلية يسببها تبريد سطح الأرض. تحفز الإنقلابات تكوين الضباب، وتحتجز الغازات، والجسيمات فى الوقت ذاته مكونة تركيزا للملوثات.

مادة نشطة إشعاعياً radioactive material: أى مادة تبعث إشعاعاً مؤيناً بصورة تلقائية.

منطقة التيارات السريعة rapids zones: المنطقة المضطربة فى جدول أو نهر يكون فيها الماء فى حالة إهتياج بسبب العوائق فى المنطقة التحت سطحية التى تسبب إضطرابا وتهوية للماء.

متفاعل reactive: ميل مادة ما للتفاعل مع المواد الأخرى.

منطقة إعادة الشحن recharge area: المنطقة التى تتخللها مياه الأمطار لكى تعيد شحن المياه الجوفية.

منطقة التعافى recovery zone: المنطقة من النهر أو الجدول التى يتم فيها إنقاص التلوث عن طريق عملية التنقية الذاتية.

إعادة التدوير recycle: عملية إستعادة وإعادة إستخدام المواد من تيار النفايات.

إعادة تدوير recycling: إنظر إعادة التدوير.

تقانة إعادة التدوير recycling technology: التقنية المتوفرة لإعادة تدوير أو إعادة إستخدام منتجات النفايات; عمليات مثل تكوين السماد والأدماج الساخن والبارد للأسفلت.

إختزال reduction: إزالة الأكسجين من مركب ; تقليل عدد الأكسدة الناتج من إكتساب الإلكترونات.

نفايات refuse: نفايات وبقايا المنازل.

الرطوبة النسبية relative humidity: النسبة المئوية للرطوبة فى حجم معطى من الهواء عند درجة حرارة معطاه بالنسبة إلى مقدار الرطوبة التى سوف يحتويها نفس الحجم من الهواء عند نقطة التشبع.

مصادر متجددة renewable resources: مصادر يمكن أن تنضب على المدى القصير إذا إستخدمت أو لوثت بسرعة شديدة. إلا أنه يمكن أن يحل محلها عادة عبر العمليات الطبيعية.

عينة ممثلة representative sample: عينة من الكون أو من الكل ، مثل كومة نفايات كبيرة، أو بحيرة ضحلة، أو مياه جوفية يتوقع منها أن تبرز الخواص المتوسطة (متوسط خواص) الكل.

مستودع reservoir: جسم مياه عذب ساكن صنعه البشر ضخم وعميق.

المصادر المنزلية للنفايات الصلبة المدينية residential sources of MSW: النفايات الصلبة المدينية من المنازل والتي تتكون بصورة رئيسية من الورق، والزجاج، ونفايات الخضروات، وأوراق الكرتون، والرماد، وعلب الصفيح،... الخ

مورد resource: شئ ما يخدم حاجة، ويكون مفيداً ومتوفراً بتكلفة محددة.

قانون الحفاظ على الموارد الطبيعية وإستعادتها RCRW: قانون مرره الكونغرس في العام 1976 للتحكم فى رمى مواد النفايات من المهد الى اللحد.

إعادة استخدام reuse: أن تستخدم منتجاً مرة تلو الأخرى فى نفس هيئته ، كما يحدث عندما يغسل الزجاج الذى يمكن إعادته ويعاد ملئه.

رايبوسومات ribosomes: فى سيتوبلازم البكتيريا، أجسام دقيقة دائرية مصنوعة من الرنا وملصقة بصورة ضعيفة الى أغشية البلازما وهى مواقع تخليق البروتينات وهى أيضاً جزء من عملية الترجمة.

تقييم المخاطر risk assessment: تقييم التهديد الذى تمثله منشأة النفايات الخطرة على الصحة العامة; الوضع فى الإعتبار إحتمالية حدوث حادث وآثاره.

تشخيص المخاطر risk characterization: الخطوة النهائية فى فى عملية تقييم المخاطرحيث يحدد تقدير حدوث حادث ذو أثر صحى سلبى تحت ظروف التعرض الموجودة فى تقييم التعرض.

قانون الأنهار والمرافئ River ande Harbour Act(1899): إبتدرت أول سلطة تشريعية أعطيت لوكالة فيدرالية (وحدة مهندسى الجيش الأمريكى) من أجل منع رمى النفايات فى الأنهار والموانئ.

دولابيات rotifers: كائن حى متعدد الخلايا مائى دقيق ذو حلقة شبيهة بالدولاب من الأهداب موجوده على طرفه الداخلى.

مهملات rubbish: نفايات قابلة للإشتعال، أوراق ، كرتون، سجائر، خردوات خشبية، كناسة أرضية قابلة للإشتعال ، من مصادر منزلية وتجارية وصناعية.

خسائر التشغيل running losses: الإنبعاثات التبخرية من محرك الإحتراق الداخلى نتيجة للقيادة، تحدث الخسائر أيضاً حينما يسخن الوقود بسطح الطريق، وحينما يدفع الوقود من خزان الوقود بينما العربة تحت التشغيل وحينما يصبح خزان الوقود ساخناً.

الجريان runoff: المياه السطحية الداخلة للأنهار وبحيرات المياه العذبة أو المستودعات من أسطح الأرض .

قانون ماء الشرب النظيف (SDWA): مفوض من قبل وكالة حماية البيئة لكى يدرس معايير مياه الشرب لكل أنظمة المياه العامة التى تخدم 25 شخصاً أو بها 15 وصلة.

ماء مالح Soline water: ماء به محتوى ملح فائض.

نشر الملح salt spreading: ممارسة نشر الملح على الطرق أثناء الشتاء للمساعدة على تخفيف تراكم الثلج والجليد، تلوث أملاح الطريق التربة أثناء الجريان.

مكبات النفايات الصحية sanitary landfill: طريقة للتخلص من النفايات الصلبة مصممة بحيث تقلل من تلوث الماء من الجريان والتسرب ، تغطى النفايات بطبقة من التربة بعد مرور يوم على إيداعها موقع مكب النفايات.

مياه الصرف الصحى sanitary wastewater: نظام صرف منفصل صمم من اجل إزالة النفايات المنزلية من المناطق السكنية.

رمي saprophyte: كائن حى يستخدم الإنزيمات لكى يتغذى على منتجات النفايات، أو أنسجة الكائنات الحية الميتة.

إس أي آر أي (SARA): قانون تعديلات وأعادة التفويض للدعم الفائق للعام 1986; إنظر قانون الإستجابة البيئية الشاملة والتعويضات والمسؤولية القانونية.

منطقة مشبعة Ssturated zone: تربة تحت سطحية مشبعة بالماء ; مستوى المياه الجوفية.

التقشير scaling: حينما يسخن ماء الكربونات العسر، تترسب كربونات الكالسيوم وهيدرو كسيد المغنزيوم خارج المحلول مكونة قشرة صلبة كالصخر تسد أنابيب الماء الساخن، وتخفض من فعالية الغلايات، وسخانات الماء، ومبادلات الحرارة.

علم science: ملاحظة الظواهر الطبيعية، والتعرف عليها، ووصفها، وإستقصاءها بصورة تجريبية، والتفسير النظري لها.

الأسلوب العلمى scientific method: صورة منهجية للإستقصاء تشمل الملاحظة، والتخمين، والتفسير المنطقي.

إرتفاع مستوى البحر sea-level rise: الإرتفاع الطبيعى لمستوى البحر الذى يحدث بأنساق دائرية عبر التاريخ ;والذى قد يكون نتيجة لتأثير البشر على الإحترار العالمى.

القانون الثانى للديناميكا الحرارية second law of thermodynamics: قانون طبيعى يحتم تحول بعض من مدخول الطاقة الإبتدائى دائماً الى هيئة طاقة ذات جودة وفائدة أقل، وتشتت أكثر، تكون عادة فى شكل حرارة ذات درجة حرارة منخفضة تتساب الى البيئة عند تحول الطاقة الحرارية إلى شغل مفيد .لا يمكنك أن تخرج متعادلاً من حيث جودة الطاقة.

المعايير الثانوية لمياه الشرب secondary drinking water standards: الموجهات الغير ملزمة المبنية على الخصائص الجمالية التي تشمل الطعم، والرائحة، ولون مياه الشرب، والخصائص الغير جمالية مثل الحاتية والعسر.

معايير التعرض الثانوية secondary exposure pathways: فى المعالجات الموضعية، تحدث كمكون فرعى أثناء عمليات الموقع، وتبرز نقصا مع مرور الزمن مع تطور المعالجة (على سبيل المثال، الغبار الذى تذروه الرياح).

المعالجة الثانوية secondary treatment: (لمياه المجارى) إزالة الشوائب من الماء عن طريق الفعل الهضمى لعدد من الكائنات الحية الصغيرة فى وجود الهواء والأكسجين.

مكب القمامة المؤمن secure landfill: موضع أرضى لتخزين النفايات الصلبة والسائلة الخطرة التى توضع عادة فى حاويات وتدفن فى منطقة مراقبة بإستمرار يقيد الوصول اليها. تبنى مثل هذه المكبات فوق الطبقة الجيولوجية التى يفترض أن تقى من تسرب النفايات إلى المياه الجوفية.

رسوبى sedimentary: صخر يتكون من مواد مترسبة من العوالق، أو مترسبة من محلول وتكون مدمجة بصورة أقل أو أكثر. الصخور الرسوبية الاساسية هى الأحجار الرملية، والطفل الصفحي، والأحجار الكلسية، والرصيص (الكتلة المختلطة).

رسوبيات sediments: جسيمات تربة تزاح من موضعها بقطرات المطر وتنتقل عبر الجريان الى الجداول، والأنهار والبحار، والمحيطات ثم تترسب هناك.

التنقية الذاتية self-purification: الظاهرة الطبيعية التى تحدث فى أنظمة المياه الجارية (الجداول والأنهار) حيث تعمل العمليات الفيزيائية، والكيميائية، والاحيائية على التنقية الذاتية للماء.

بحيرة مسنة senescent pond: بحيرة وصلت عمراً عتياً.

فصل separation: طريقة معالجة نفايات خطرة (الترشيح والفصل) حيث يستخدم الترشيح لفصل الجسميات الصلبة من التيار السائل بإستخدام أوساط شبه منفذة . مدفوعة بفرق الضغط عبر الأوساط، ومسببة بالجاذبية، والقوة الطاردة، والفراغ، أو الضغط المرتفع.

المنطقة النتنة septic zone: فى عمليات التنقية الذاتية التى تحدث فى أجسام المياه الجارية (الجداول أو الأنهار)، المنطقة التى تتميز بالتلوث العضوى الكثيف ومستويات أ م المنخفضة.

التدعيم بإستخدام الركائز العريضة sheet piling: فى تقنية العزل/ الإحتواء الموضعية ، الدفع الفيزيائى للصفائح الصلبة ، تكويم الخشب أو الفولاذ، أو الأسمنت فى الأرض لتكوين حاجز للإحتواء.

شراب العلف شبه المتخمر silage liquor: السائل المجفف أو المتسرب من العلف المحضر عن طريق تخزين وتخمير نباتات العلف الأخضر فى صومعة غلال.

البالوعات sinks: مناطق ، طبيعية أو إصطناعية، تصدر عندها المنتجات أو الدفق الخارج من الإنتاج والإستهلاك فى مكان ما بصورة فيزيائية الى مكان آخر بغرض تخزينها أو التخلص منها.

الميل slope: خاصية تربة يكون فيها إنحدار طبقة التربة مرتبطاً بصورة مباشرة بدرجة التجريف التى قد تحدث.

رياح الميل slope wind: الرياح التى تتحرك عبر وادى نهر عادي ;وتنساب هذه الرياح الى اسفل التل إلى أرضية الوادى.

جدران الملاط slurry wall: فى العزل/ الإحتواء الموضعى ، حواجز فيزيائية جوفية مثبتة، تكونت فى خندق محفور عن طريق ضخ الملاط، الذي يكون عادة بنتونايت أو خليط أسمنت وماء.

ضبخان smog: مصطلح يستخدم لوصف تلوث الهواء المرئى ; سديم كثيف عديم اللون يحتوى على كميات كبيرة من غبار الفحم والرماد والملوثات الغازية مثل ثانى أكسيد الكبريت وثانى أكسيد الكربون.

الماء اليسر soft water: ماء تكون درجة عسره أقل من 50 جزء من المليون.

تربة soil: جسم طبيعى ديناميكي تنمو عليه النباتات، يتكون من مواد معدنية وعضوية وأشكال حية.

سبر التربة soil boring: إستخدام أداة لسبر التربة (كالمسبار) لأخذ عينات من التربة بغرض تحليلها.

عامل التربة soil factor: فى معالجة التربة الموضعية ، تشمل عوامل التربة المحتوى المائى ، والمسامية/ الإنفاذية ، والمحتوى الطينى، وكثافة مواضع الإدمصاص.

خصوبة التربة soil fertility: جودة التربة التى تمكنها من توفير العناصر الكيميائية الأساسية بكميات ونسب لنمو نباتات محددة.

عملية تكوين التربة soil forming process: وضع منشأ التربة ، بالإشارة الخاصة الى العمليات أو عوامل تكوين التربة المسؤولة عن تطوير، أو التربة الحقيقة، من المادة الأم المدمجة.

أفق التربة soil horizon: طبقة من التربة، موازية تقريباً لسطح التربة، تختلف في خواصها وخصائصها من الطبقات المجاورة من فوقها ومن تحتها.

تلوث التربة soil pollution: تلوث التربة والطبقة التحت أرضية بإضافة الملوثات.

القطاع العمودي للتربة soil profile: قطاع عمودى فى التربة بداية من السطح مروراً بجميع آفاقها بما فيها آفاق ج.

مداواة أو معالجة التربة soil remediation: إستخدام تقنيات أو أساليب متنوعة لإزالة التلوث عن التربة أو للتخلص من التربة الملوثة.

أخذ عينات التربة soil sampling: يجرى للتحديد عن طريق تحليل نوع، وقوام، وبنية تربة ما; يستخدم لتجميع عينات التربة الملوثة لتحديد درجة ومدى التلوث بغرض التحليل.

بنية التربة soil structure: تركيب أو ترتيب لجسيمات التربة الأساسية في شكل جسيمات ثانوية ، أو وحدات، أو وحدات بنية التربة. قد تكون هذه الوحدات الثانوية، أو قد لا تكون في العادة، غير منتظمة بطريقة تعطي نسقاً مميزاً خاصاً. تشخص الوحدات الثانوية وتصنف على أساس الحجم، والشكل، ودرجة التميز فى شكل أصناف، وأنواع، ودرجات ،على الترتيب.

قوام التربة soil texture: النسب النسبية لمنفصلات التربة المتنوعة فى التربة.

غسل التربة وإستخلاصها soil washing and extraction: فى تقنية التحكم بالتلوث لاحواض التخزين الجوفية ، يستخدم لترشيح الملوثات من التربة فى وسط رشح، تزال الملوثات المستخلصة بعد ذلك بالطرق التقليدية.

صلب soild: مادة ذات حجم محدود وشكل معين.

نفايات صلبة soild waste: أى مادة تكون صلبة عادة وغير مفيدة، وغير مطلوبة وتنتج من الأنشطة البشرية، أو الحيوانية.

قانون التخلص من النفايات الصلبة SWOA (1965)**:** قانون العام 1965 هو أول خطوة رئيسية من قبل مشرعى الولايات المتحدة من أجل تشجيع(ضمن أشياء اخرى) إظهار وإنشاء، وتطبيق أنظمة إدارة النفايات الصلبة، وأنظمة إسترجاع المصادر من أجل الحفاظ على جودة مصادر المياه ، والهواء، والأرض وتعزيزها .

تيار النفايات الصلبة soild wastestream: تيار مواد النفايات الصلبة ككل.

تصليب solidification: تقنية تثبيت تستخدم لتحويل النفايات الخطرة من هيئتها الأصلية الى هيئة ذات ثبات فيزيائى وكيميائى أكثر. يتم إنجازه عن طريق تقليل حركة المركبات الخطرة فى النفايات قبل التخلص الأرضي منها.

التصليب/ التثبيت solidification/stabilization: إنظر التصلب.

الذوبانية solubility: مقدرة المادة على الإمتزاج مع الماء

المذاب solute: المادة المذابة فى المحلول

المذيب ثف: المادة الموجودة فى المحلول بوفرة.

إمتزاز sorption:عملية إدمصاص أو إمتصاص مادة على أو فى مادة أخرى.

نوع species: مجموعة من الأفراد والسكان قابلين للتزاوج فيما بينهم، وغير قابلين لإنتاج ذرية خصبة من التزاوج مع الأنواع الأخرى من الحيوانات والنباتات.

جاذبية نوعية specific gravity: نسبة وزن وزن سائل او صلب الى وزن حجم مساوى له من الماء.

الحرارة النوعية specific heat: مقدار الطاقة الحرارية بالسعرات، اللازمة لرفع درجة حرارة واحد جرام من مادة ما درجة مئوية واحدة.

نفايات المصدر الخاص specific source wastes: نفايات من صناعات متعرف عليها بصورة خاصة ، تشمل الحفاظ على الخشب وتصفية البترول، وتصنيع المواد الكيميائية العضوية . بصورة نموذجية، تشمل هذه النفايات الأوحال، والمتبقيات، والمواد الحفازة المستهلكة والبقايا.

اللولبية spirilla: شكل بكتيرى يتميز بكونه غير مرن، وحلزوني، ومنحني.

أنقاض spoil: المادة المأخوذة من أنقاض الحفر.

بوغ spore: الطور التكاثرى للفطريات.

التحول الربيعى spring overturn: ظاهرة خاصة بالبحيرات يتحول فيها الجسم المائى داخل البحيرة بكلياته بسبب التغير فى كثافة الماء.

ثبات stability: اضطراب جوى، دالة فى التوزيع العمودى لدرجة الحرارة الجوية.

صنف الثبات stability class:مصطلح يستخدم لتصنيف درجة الإضطراب فى الجو.

التثبيت stabilization: إنظر التصلب

الجو الثابت stable atmosphere: يتميز بهواء يكون أبرد عند الأرضية بدلاً من الإرتفاع الأعلى، وبسرعة رياح منخفضة، ويكون به تبعاً لذلك درجة إضطراب منخفضة.

مصدر ساكن stationary source : مصدر تلوث هوائى ينشأ عن نقطة ثابتة أو ساكنة.

متبقيات still bottoms: ما يتبقى بعد أن يقطر المذيب المستهلك (بغرض إعادة التدوير) ; يتكون من مزيج مركز، عالى السمية، ذو حجم مختزل جدا.

كومة تخزين stockpile: بعض المنتجات الكيميائية (مثل ملح الطرقات) المحفوظة بكميات معينة للإستخدام المحتمل، والتى يمكن أن يساهم الجريان منها فى تلوث التربة.

مياه العواصف الممطرة stormwater: مياه العواصف الممطرة العادية التى تحتوى على الغرين وحطام الشوارع لكنها تخلو من النفايات المنزلية أو الصحية.

التطبق stratification : علاقة درجة الحرارة بالكثافة للماء فى البحيرات ذات درجة الحرارة المعتدلة (<25 قدماً فى العمق) التى تؤدى الى التطبق أو التحول اللاحق.

ستراتوسفير stratosphere: منطقة من الجو مبنية على أساس درجة حرارة تتراوح بين 10-35 ميلاً فى الإرتفاع.

تعرية stripping: تقنية تحكم فى النفايات تفصل فيها المركبات المتطايرة من الأقل تطايراً فى خليط سائل عن طريق تجزئة المادة الأكثر تطايرً إلى طور غازى للهواء أو البخار.

دون أديباتيكى subadiabatic: معدل الإنقضاء المحيط حينما يكون أقل من معدل الإنقضاء الأدبياتيكى الجاف.

النباتات المغمورة submerged vegetation: فى بركة ، النباتات التى تنمو حيث يمكن للضوء أن ينفذ عبر سطح الماء ويصل اليها.

إنقلاب تسيخ (هبوط) subsidence inversion: نوع من الإنقلاب يرتبط عادة بنظام ضغط عالى، يعرف بالإعصار المضاد، الذى يمكن أن يؤثر بصورة كبيرة على تشتت الملوثات فوق مناطق كبيرة.

التربة التحتية subsoil: التربة تحت الطبقة المحروثة.

ركيزة substrate: المادة او الغرض الذى يعمل عليه الإنزيم.

المستويات المقترحة suggested levels: موجهات غير ملزمة لمياه الشرب الثانوية فيما يخص رفاهية العامة.

دورة الكبريت sulfure cycle: التدوير الطبيعى للكبريت عبر البيئة.

ثانى اوكسيد الكبريت sulfur dioxide: ملوث أساسي يرجع أصله بصورة أساسية الى إحتراق الفحم ذو المحتوى الكبريتى العالى.

ضبخان الكبريت sulfurous smog: السديم الذى يتطور فى الجو حينما تتراكم جزيئات حمض الكبريت، وتتمو فى حجمها على هيئة قطرات الى أن تصبح كبيرة بما يكفى كى تعمل كمشتات للضوء.

ركود صيفى summer stagnation: فى تطبق البحيرات، حالة تحدث فى بعض البحيرات حينما تكون الطبقة العليا من الماء أكثر دفئاً من الطبقة السفلى. ينتج عن ذلك طبقات ذات كثافة مختلفة تكون العليا منها خفيفة والسفلى منها ثقيلة. مع إزدياد درجة الحارة ، تكون الطبقة العليا أكثر خفة ويتكون الميل الحراري. من القمة الى القاع، لدينا الآن الطبقة الأخف والأكثر دفئاً فى القمة، والطبقة ذات الوزن المتوسط والدفء النسبي فى المنتصف، والأثقل والأبرد فى القاع، مع هبوط حاد فى درجة الحرارة عند الميل الحراري. لا يتمازج الماء فى هذة الطبقات الثلاث الدوران عند التدوير . إذا كان الميل الحراري موجوداً عند أسفل مدى نفاذ الضوء الفعال ، يصبح إمداد الأكسجين ناضباً فى الطبقة السفلى من البحيرة لأن كلاً من التخليق الضوئى والمصدر السطحى للأكسجين قد قطعت.

فوق أدبياتيكى superadiabatic: معدل الإنقضاء حينما تبدأ حزمة الهواء بدءاً من 1,000 متر عند 20 درجة مئوية، على سبيل المثال فى التحرك الى أسفل

وتصبح أبرد وأكثر كثافة من مجاوراتها. ولان الهواء المحيط يكون غير مستقر فإن هذه الحزمة تستمر فى الغوص.

مكثف سطحى surface condenser: فى تقنية التحكم فى تلوث الهواء ، نوع من معدات التكثيف عادة، يتكون من مبادل حرارى مكون من صدفة وانبوب . يستخدم وسط تبريد هواء او ماء حيث يُفصل البخار المراد تكثيفه من الوسط المبرد بجدار معدنى . يسرى المبرد عبر الانابيب بينما يمرر البخار ويتكثف خارج الانابيب ويتم تجفيفه الى التخزين.

محتجز سطحى surface impoundment: 1 إسم آخر لمكب القمامة ،2 مناطق مترسة أومحفورة تستخدم لتخزين النفايات السائلة الخطرة.

الأصول السطحية surface origins: الاصول السطحية لملوثات التربة التى تشمل الدقائق الغازية والمحمولة بواسطة الهواء ، ترشيح مياه السطح الملوثة، التخلص من مواد النفايات الصلبة والسائلة برميها على الارض ، كومة التخزين والخبث والانقاض والمكبات ، نشر الملح على الطرقات ، معالف الحيوانات، المخصبات ومبيدات الآفات، الانسكابات العرضية وتحويل الاوراق والنفايات الاخرى الى سماد.

المياه السطحية surface water: الماء على سطح الارض المعرض للجو والذى هو على الغالب ناتج لهطول الامطار.

تكافلى symbiotic: علاقة وثيقة بين نوعين مختلفين من الكائنات الحية حيث يستفيد الطرفين من العلاقة القائمة بينهما.

تكوين، تخليق synthesis: تكوين مادة او مركب من مكوناته الاساسية.

خبث tailing: النفايات المتبقية ذات الجسيمات الدقيقة الملفوظة بعد التعدين ومعالجة الخام ، عادة بعد الغسل.

الطعم والرائحة taste and odor: مقياس لجودة الطعام.

إجراء خواص السمية والرشح TCLP: حلت محل إجراء الاستخلاص للسمية. صُممت من اجل التعرف على النفايات التى سوف تسرب تركيزات خطرة من مكونات سامة على الارجح الى التربة المحيطة او المياه الجوفية.

درجة الحرارة temperature: مقياس لمتوسط الطاقة الحركية للجزيئات.

انقلاب درجة الحرارة temperature inversion: وضع يتميز بمعدل انقلاب معكوس.

الدوران الحرارى thermal circulation: نتيجة العلاقة المبنية على قانون الفيزياء حيث أن الضغط وحجم الغاز يرتبطان مباشرة بدرجة حرارته.

المرمد الحرارى أو (الحارق الخلفي) thermal incinerator (or afterburner): أداة مستخدمة فى الإحراق حيث يمرر تيار الملوث الهوائى حوالى أو عبر موقد والى داخل حجرة سكن مبطنة بمادة مقاومة للحرارة تحدث فيها الأكسدة. الغاز المنبعث من المرمد الحرارى يكون ذو درجة حرارة عالية ويحتوى على طاقة حرارية يمكن إسترجاعها.

إنقلاب حرارى thermal inversion: طبقة من الهواء البارد تكون محتجزة تحت طبقة من الهواء الدافئ أقل كثافة منها، وبذلك تقى من الإرتداد الى الوضع الطبيعى.

أكسيد النيتروجين الحرارى thermal NO_x: ينتج عندما يسخن النتروجين والاوكسجين فى هواء الاحتراق (على سبيل المثال داخل الة احتراق داخلى) الى درجة حرارة عالية بما يكفى (فوق 1000 كلفن) لكى يتسبب في إتحاد الأكسجين والنتروجين الموجودين فى الهواء.

التلوث الحرارى thermal pollution: زيادة درجة حرارة الماء مع اثآر بيئية ضارة على الانظمة البيئية المائية.

الاشعاع الحرارى thermal radiation: الطاقة الحرارية المشعة بصورة مباشرة الى الفضاء من سطح الارض ووجوها.

المعالجة الحرارية thermal treatment: فى تقنية ضبط تلوث التربة عن طريق المعالجة الغير موضعية، الترميد الشامل(عن طريق الترميد) للملوثات المحملة بالبترول.

عمليات المعالجة الحرارية thermal treatment processes: فى تقنية التحكم بالنفايات ، ترميد النفايات.

الميل الحراري thermocline: منطقة الإنتقال الدقيقة والتى تفصل بين المنطقة الأعلى والأكثر دفئاً، والمنطقة الأسفل والأكثر برودة.

الغلاف الحرارى thermosphere: منطقة من الجو إستناداً على درجة الحرارة، وذلك ما بين 60 الى عدة مئات من الأميال فى الارتفاع تقريبا.

عتبة التاثير threshold of effect: فى علاقة جرعة– إستجابة، مستوى اللا تأثير.

كمية عتبة الإبلاغ threshold reporting quantity: مستوى تحدده (وكالة حماية البيئة) للمواد شديدة الخطورة والذى اذا ما تم تجاوزه خلال إنسكاب أو اطلاق الى البيئة فيجب تبليغ السلطات المسئولة.

حرث التربة tilth:الوضع الفيزيائى للتربة فيما يتعلق بسهولة استصلاحها ومناسبتها كمهاد للبذور وإعاقتها لظهور البادرات وتغلغل الجذور.

التربة الفوقية topsoil: طبقة التربة التى تحرك فى عمليات الزراعة.

المواد الصلبة المذابة الكلية total dissolved soilds: المواد الصلبة المتبقية بعد تبخير عينة من الماء او الدفق الخارج ويعبر عنها بوحدة مج/لتر.

نتروجين جلدهال الكلى total Kjeldahl nitrogen (TKN): التركيز الكلى لنتروجين الامونيا والنتروجين العضوي فى ماء الصرف.

مادة كيميائية سامة toxic chemical: مصطلح يستخدم من قبل (وكالة حماية البيئة) للمواد الكيميائية التى يجب الابلاغ عن انبعاثاتها الكلية او اطلاقاتها من مالكى اومشغلى بعض المنشآت التى تصنع وتعالج او بطريقة اخرى تستخدم مواد كيميائية سامة مدرجة قائمة المواد الكيميائية السامة كما هي معرفة فى العنوان القانوني الثالث من إس أي آر أي.

المعادن السامة toxic metals: معادن تشمل الزرنيخ والكادميوم والرصاص والزئبق وهى كلها سموم تراكمية وخطيرة بصورة خاصة على الصحة البشرية.

مادة خطرة او سامة toxic or hazardous substance: مواد ضارة بصحة الكائن الحى المفرد وقد تكون قاتلة أحيانا

السمية toxicity: درجة السمية.

تقييم السمية toxicological evaluation: جزء من تقييم المخاطر ينبغى ان يجيب على السؤال (هل للمادة الكيميائية اثر سلبى؟).

ذيفان toxin: سم تنتجة النباتات أو الحيوانات.

نظام تعقب tracking system: فى ادارة النفايات الخطرة ، وثيقة بيان ترافق أى نفايات تنقل من موقع لآخر.

تحول transformation: التحولات الكيميائية التى تحدث فى الجو ، على سبيل المثال تحول الملوث الاصلى الى ملوث ثانى مثل الاوزون.

مخلفات trash: نفايات اوراق ذات قابلية اشتعال عالية ، خشب ، كرتون ، تشمل ما يصل الى 10% من خردة الورق المعالج او البلاستيك او المطاط.

منشآت المعالجة كمصدر للنفايات المدينية treatment plant site sources of MSW: النفايات المنتجة من عمليات معالجة الماء وماء الصرف الصحى واى عمليات معالجة صناعية اخرى (على سبيل المثال رماد الترميد ، اوحال الصرف ، او المواد الصلبة الحيوية ، ونفايات النباتات العامة)

طريقة الخندق trench method: فى تقنية التحكم بتلوث احواض التخزين الجوفية ، طريقة تستخدم لقبض كامل الطرف الامامى لريشة الملوث.

خندقة: انظر تنقيب.

المستوى الغذائى trophic level: وضع التغذية الذى يحتله كائن حى معطى فى السلسلة الغذائية والذى يقاس بعدد الخطوات المزالة من المنتجين.

التروبوسفير troposphere: منطقة من الجو تستند على فرق درجة الحرارة بين سطح الارض وارتفاع 10 اميال.

عكورة turbidity: شفافية مخففة للجو يسببها إمتصاص وتشتيت الاشعاع بواسطة الجسيمات الصلبة او السائلة من غير السحب والمثبتة فى وضع التعليق.

اضطراب turbulence: حركة غير منسقة وحالة تغير دائم فى السوائل والغازات.2 واحد من لوازم الاحتراق.

انقلاب تحول turnover: امتزاج المستويات العليا والسفلى لبحيرة والذى يحدث اثناء الربيع والخريف وتسببه التغيرات الدراماتيكية في درجة حرارة المياه السطحية.

مكمن مياه جوفيه غير محصور unconfined aquifer: مكمن مياه جوفية لا تحده طبقة منفذة من اسفل .

أحواض التخزين الجوفية underground storage tanks: احواض تخزين صممت لكى تخزن المواد الكيميائية خصوصا الوقود.

نظام الامم المتحدة العددي لتصنيف المخاطر UNHCNS: نظام لتحديد وتسمية المواد الخطرة وذلك من خلال نظام عددي. .

منطقة غير مشبعة unsaturated zone: تقع تحت سطح التربة تماما وتتميز بوجود شقوق تحتوى على الماء والهواء معاً والماء الموجود فيها غير متاح للاستعمال.

جو غير مستقر unstable atmosphere: يتميز بدرجة عالية من الاضطراب.

حويصلة vacule: تجويف صغير فى بروتوبلازم خلية.

ماء فادوز vadose water: ماء موجود فى المنطقة الغيرمشبعة وهو اساساً غير متاح للاستخدام .

تكافؤ valence: الشحنة الكهربية الخالصة على الذرة او عدد الالكترونات التى يمكن للذرة ان تمنحها او تكتسبها لكى تتحصل على غلاف خارجى مكتمل.

رياح الوادى valley winds: عند مستوى ارضية الوادى ، تتحول رياح المنحدر الى رياح وادى تسرى الى اسفل الوادى عادة مع انسياب النهر.

تنفيس venting: فى تقنية التحكم بالتلوث: طريقة لمعالجة انسكابات الهيدروكربون (الجازولين) او التسربات من احواض التخزين الجوفية.

فنتوري venturi: انبوب قصير ذو حلق ضيق يستخدم لتحديد ضغط المائع والسرعات عن طريق قياس فرق الضغط المتولد عند الحلق وذلك عند عبور المائع للانبوب.

البرك الربيعية vernal ponds: برك الربيع وهى ذات فترة قصيرة فى العادة.

فيروس virus: عامل معدى ذو تركيب غير خلوى ، غلاف بروتينى ونوع واحد من الاحاض النووية ويتكاثر فقط مع خلايا المضيف الحية.

متطاير volatile: حينما تتبخر مادة (سائل)في درجة الحرارة العادية وذلك عند تعرضها للهواء.

المواد العضوية المتطايرة volatile organic compounds (VOCs): مركبات عضوية تتبخر وتساهم فى تلوث الهواء بصورة مباشرة اوعن طريق تفاعلات كيميائية ضوئية لكى تنتج ملوثات ثانوية بصورة اساسية الاوزون.

التطيير volatilization: عندما تمر مادة صلبة او سائلة الى الحالة البخارية.

حجم volume: مساحة السطح مضروبة فى بعد ثالث.

جبهه دافئة warm front: يشيرالى تقدم كتلة هوائية دافئة مع وذلك حين ترتفع على جبهه باردة.

تقليل النفايات waste minimization: مصطلح جامع يقصد به الممارسات الصناعية التى تقلل من حجم المنتجات وتقلل من التعبئة وتطيل من أمد الحياة المفيدة للمنتجات وتقلل من مقدار المادة السامة فى المنتجات.

أكوام النفايات waste piles: النفايات المكومة فى المواقع الصناعية والتى ينتهى بها المطاف فى مكبّات النفايات.

مياه الصرف waste water: تيار نفايات سائل ينتج بصورة اساسية من خمسة مصادر: النفايات البشرية والحيوانية ، نفايات المنازل ، النفايات الصناعية ، جريان مياه الامطار ، ورشح المياه الجوفية.

المحتوى المائى water content: فى التطيير الموضعى ، تاثير محتوى الماء على معدل التطيير عن طريق تاثيره على المعدلات التى يمكن عندها للمواد الكيميائية ان تنتشر عبر منطقة فادوز. زيادة محتوى الماء الصلب يقلل من المعدل الذى تنقل عنده المركبات المتطايرة الى السطح عبر انتشار البخار.

ملوثات الماء water pollutants: ملوثات غير مرغوبة يمكنها ان تلوث الماء .

تلوث الماء water pollution: تغيير كيميائى او فيزيائى فى المياه السطحية او الجوفية الذى يمكن ان يؤثر بصورة سالبة على الكائنات الحية.

مستوى المياه الجوفية water table: السطح الاعلى لمنطقة التشبع والتى يكون كل الفراغ الواقع تحته مملؤ بالماء.

بخار الماء water vapor:المكون الأكثر وضوحا فى الجو (الماء وهو فى هيئة بخار).

الممرضات المنقولة عن طريق الماء water borne pathogens: موصلات نقل بعض الكائنات الحية الدقيقة الممرضة.

مستجمع المياه watershed: المنطقة التى تصب في النهر او النظام النهرى او جسم مائى.

الحد الفاصل لمستجمع المياه watershed divide:بروز من الارض المرتفعة الذى يقسم منطقتين يحفهما نظامين نهريين مختلفين.

الطقس weather: النسق من يوم لاخر لهطول الأمطار ، درجة الحرارة ، الريح الضغط البارومترى والرطوبة.

التجوية weathering: التفكيك الكيميائى والميكانيكى للصخور والمعادن بفعل العوامل الجوية .

وزن weight: القوة التى تمارس على اى جسم من قبل الجاذبية.

منقيات الغاز الرطبة wet scrubber: أداة معالجة (برج مدخنة، على سبيل المثال) يمرر فيها تيار النفايات الملوث عبر أوساط محملة بالكائنات الحية الدقيقة أو عبر رشاش كيميائى (مثل الحارقات) لتفكيك أو معادلة الآثار الضارة للملوث أو الملوثات.

أرض رطبة wetland: منطقة منخفضة، مثل الأهوار، أو المستنقعات، مشبعة بالماء ويفكر فيها عادة كمسكن طبيعى للحياة البرية.

البضائع البيضاء white goods: أغراض النفايات الصلبة الكبيرة مثل الأجهزة الكهربائية فى المنازل (الثلاجات ، والمواقد ، وغاسلات الصحون ، والغسالات والنشافات ،... الخ).

ريح wind: الحركة الافقية للهواء.

ريح ونسيم wind and breeze: الظروف المحلية التى تسببها الحركة الدائرية للهواء الدافئ والبارد (الحمل) والفروقات فى التسخين.

النفوق الشتوى winter leill: وضع يحدث في بحيرة أو بركة حينما تتجمد كامل كتلتها، مؤدية بذلك إلى موت جميع قاطنها.

التطبق الشتوي winter stratification: فى بحيرة فى الشتاء ، الوضع الذى يحدث حينما تكون الطبقة العليا من البحيرة مرتبطة بالثلج، وعند أدنى درجة حرارة وبالتالى تكون أخف الطبقات ، ويكون للميل الحراري درجة حرارة متوسطة ووزن متوسط، بينما تكون درجة حرارة الطبقة السفلى من البحيرة مساوية لحوالى 4.0- درجات مئوية وتكون الطبقة الأثقل.

ديدان worms: فى علم بيئة الجداول ، وجود بعض أنواع الديدان فى الرسوبيات القاعية يعد مؤشرا على تلوث الجدول.

المواد الغريبة xenobiotics: أى مادة كيميائية موجودة فى البيئة الطبيعية بينما لا توجد عادة فى الطبيعة; على سبيل المثال ، مبيدات الآفات ، و/ أو الملوثات الصناعية.

بحيرة شابة young pond: فى دورة تطور البحيرة ، الطور الإبتدائى أو الأصغر.

منطقة التلوث الحديث zone of recent pollution: فى الجداول والانهار ، منطقة تفريغ التلوث .

ثبت المصطلحات

عربي - انجليزي

injection well	آبار الحقن
monitor wells	آبار المراقبة
spores	أبواغ
Extraction procedure EP	إجراء الاستخلاص
Toxicity characterstics leaching procedure TCLP	إجراء خواص السّمية والرشح
Global warming	الإحترار الكوني
combustion	إحتراق
catalytic combustion	الإحتراق الحفزى
direct flame combustion	إحتراق اللهب المباشر
underground storage tanks USTs	أحواض التخزين الجوفية
Leaking underground storage tank LUST	أحواض التخزين الجوفية المسربة
biology	الأحياء
biotic	أحيائي
geophysical testing	الإختبار الجيوفيزيائي
Reduction	الإختزال
facultative	إختياري
soil sampling	أخذ عينات التربة
automatic samplers	آخذات العينات الآلية
asphalt incorporation	إدماج الأسفلت
adsorption	إدمصاص
gravity settlers	الإدمصاص
carbon adsorption	إدمصاص الكربون
adiabatic	أدياباتيكي
Sea–level rise	إرتفاع مستوى البحر
detoxification	إزالة السّمية
ph	الأس الهيدروجيني
Emergency response	استجابة طوارئ
chemical extraction	إستخلاص كيميائي

metabolism	الإستقلاب / الأيض
metalloids	أشباه الفلزات
stewardslup	إشراف
radiation	الإشعاع
thermal radiation	الإشعاع الحراري
Infrared radiation	الأشعة تحت الحمراء
impaction	إصطدام
surface origins	الأصول السطحية
turbulance	إضطراب
reuse	إعادة استخدام
beneficial reuse	إعادة إستخدام مفيدة
recycling	إعادة التدوير
interception	إعتراض
Extremely hazardous materials	الأغراض الخطرة جداً
Hazardous chemicals	الأغراض الكيميائية الخطرة
best available technology	أفضل التقنيات المتوفرة
soil horizon	أفق التربة
horizon	الأفق، النطاق
thermal NO_x	أكاسيد النتروجين الحرارية
oxidation	الأكسدة
oxidation-reduction	اكسدة واختزال
waste piles	أكوام النفايات
alkanes	الألكانات
alkynes	الألكاينات
alkenes	الألكينات
sorption	الإمتزاز
absorption	إمتصاص
amoeba	أميبيا
evaporative emissions	إنبعاثات تبخرية
entropy	الأنتروبيا
cyclone diffusion	إنتشار الزوبعة
holoenzyme	الإنزيم الكامل
enzymes	الإنزيمات
accidental spills	الإنسكابات العرضية
spoil	أنقاض
thermal inversion	الإنقلاب الحراري
subsidence inversion	إنقلاب إنخسافي

temperature inversion	إنقلاب درجة الحرارة
radiative inversions	إنقلابات إشعاعية
species	الأنواع
ozone	الأوزون
oxygen	الأوكسجين
dissolved oxygen	الأوكسجين المذاب
do dissolved oxygen	أوكسجين مذاب
nitrogen oxide	أوكسيد النتروجين
carbon monoxide	أول أوكسيد الكربون
anabolism	الأيض البنائي
catabolism	الأيض الهدمي
pascal pa	باسكال
exergonic	باعث للطاقة
oligotrophic lake	بحيرة شحيحة التغذية
eutrophic lake	بحيرة متخثثة
mature pond	بحيرة ناضجة
mestrophic lake	بحيرة وسطية التغذية
venturi	البخاخ
water vapour	بخار الماء
packed tower	البرج المعبأ
plate tower	برج لوحي
vernal ponds	البرك الربيعية
pond	بركة
permanent pond	بركة دائمة
young pond	بركة شابة
senescent pond	بركة مسنة
protozoa	البروتوزوا
protozoa	البروتوزوا
Montreal Protocal	بروتوكول مونتريال
proton	بروتون
bacteria	البكتريا
bacteria	البكتيريا
plankton	بلانكتون
soil structure	بنية التربة
still bottoms	البواقي
spore	بوغ
extraction well	بئر الإستخلاص
enviroment	البيئة

greenhouse effect	تأثير الدفيئة (البيت الزجاجي)
Greenhouse effect	تأثير غاز الدفيئة
greenhouse effect	تأثير غازات الدفيئة البيت الزجاجي
laxative effect	تأثير مسهل
budding	التبرعم
stabilization	التثبيت
nitrogen fixation	تثبيت النتروجين
acid mine drainage	تجفيف المنجم الحمضي
acid mine drainage	تجفيف ماء المناجم الحمضي
aggregate	تجمع
aggregate	تجمع
weathering	التجوية
physical weathering	التجوية الفيزيائية
chemical weathering	التجوية الكيميائية
weathering	التجوية،
subadiabatic	تحت أدياباتيكي
mobilization	التحريك
decomposition	التحلل
glycolysis	التحلل الجلكوزي
analysis	تحليل
in situ biodegradation	التحليل الحيوي الموضعى
transformation	التحول
turnover	تحول
spring overturn	التحول الربيعي
morphogenesis	تحول الشكل الظاهري
metabolic transformation	التحولات الاستقلابية
metamorphic oxidize	التحولية، متحولة، متعددة الوجوه
eutrophication	تخثث
cultural eutrophication	تخثث مستحدث
chemosynthesis	التخليق الكيميائي
synthesis	تخليق، توليد
fermentation	التخمير
trenching	التخندق
fumigation	تدخين، تعفير
hydraulic gradient	التدرج الهيدروليكي
environmental science	التدهور البيئي
bioaccumulation	التراكم الحيوي

soil	التربة
subsoil	التربة التحتية
top soil	التربة الفوقية
acid deposition	الترسب الحمضي
chemical precipitation	الترسيب الكيميائي
filtration	الترشيح
Clarification	الترشيح بالإبانة
in situ leaching and chemical reaction	ترشيح وتفاعل كيميائي موضعي
molar concentration molarity	التركيز المولاريالمولارية
Incineration	الترميد
troposphere	التروبوسفير
troposphere	التروبوسفير
insitu vitrification	تزجيج الموضعي
dispersion	التشتت
risk characterization	تشخيص المخاطر
desertification	التصحر
solidification	التصلب
solidification/stabilization	تصليب/تثبيت
stratification	التطبق
winter stratification	التطبق الشتوي
venting	التطيير
volafilization	تطيير الموضعي
pond succession	تعاقب البركة
general biological succession	التعاقب الحيوي العام
bare rock succession	تعاقب الصخور العارية
hazardous and solid waste amendments HSWA	تعديلات قانون النفايات الخطرة والصلبة
stripping	التعرية
air stripping	تعرية الهواء
air stripping	تعرية الهواء
disinfection	التعقيم
physical change	التغير الفيزيائي
chemical change	تغيير كيميائي
photochemical reaction	التفاعل الكيميائي الضوئي
chemical reaction	تفاعل كيميائي
microbial degradation	التفكيك الميكروبي
electrolytic recovery technique	تقانات الإستعادة عن طريق التحليل

	الكهربائي
insitu technologies	التقانات الموضعية
recycling asssessment	تقانة إعادة تدوير
innovative cleanup technology	تقانة تنظيف مبتكرة
non in situ technology	تقانة غير موضعية
waste minimization	تقليل التفايات
dose-response evaluation	تقييم التعرض
toxicological evaluation	تقييم السمية
risk assessment	تقييم المخاطر
symbiotic	تكافلية
valence	تكافؤ
stationary sources	تكثيف المصادر الثابتة
sheet piling	تكويم الصفائح
soil pollution	تلوث التربة
thermal pollution	التلوث الحراري
thermal pollution	التلوث الحراري
thermal pollution	التلوث الحراري
thermal pollution	التلوث الحراري
water pollution	تلوث الماء
water pollution	تلوث الماء.
air pollution	تلوث الهواء
non point source pollution	التلوث ذوالمنشأ الخارجي
point source pollution	تلوث نقطة المصدر
photosynthesis	التمثيل الضوئي
venting	التنفيس
positive crankcase ventilation	تنفيس علبة المرافق الإيجابية
self-purification	تنقية ذاتية
heat balance	توازن الحرارة
conduction	التوصيل
conduction	التوصيل
flare	توهج
air current	تيار الهواء
hazardous wastes tream	تيار نفايات خطرة
air currents	تيارات الهواء
sulfur dioxide	ثاني أوكسيد الكبريت
carbon dioxide	ثاني أوكسيد الكربون
stability	ثبات، استقرار
thermosphere	الثرموسفير
ozone hole	ثقب الأوزون

gravity	الجاذبية
front	جبهة
cold front	جبهة باردة
warm front	جبهة دافئة
cell wall	جدار الخلية
slurry walls	جدران ملاطية
periodic table	الجدول الدوري
separation	جرد/مسح العمليات الكيميائية الفصل
run off	جريان
Heat islands	الجزر الحرارية
molecule	جزيئ
genus	الجنس
unstable atmosphere	جو غير مستقر
stable atmosphere	جو مستقر
neutrally stable atmosphere	جو مستقر بالتعادل
genome	الجينوم
geology	الجيولوجيا
corrosive	حاتّة
volume	الحجم
temperature	الحرارة
heat	حرارة
latent heat of fusion	الحرارة الكامنة للإنصهار
latent heat of evaporation	الحرارة الكامنة للتبخر
specific heat	الحرارة النوعية
incineration	الحرق
incineration	حرق،ترميد
motility	الحركة
excavation	الحفر
excavation	حفر
excavation and disposal	الحفر والتخلص
catalysis	الحفز
deep well injection	حقن الآبار العميقة
enkaryotic	حقيقية النواة
sporilla	الحلزونيات
acid	حمض
conviction	الحمل

convection	الحمل
convection	الحمل
drainage basin	حوض التجفيف
drainage basin	حوض تجفيف
vacuole	حويصلة
tailings	خبث
running losses	خسائر التشغيل
soil fertility	خصوبة التربة
isobar	خطوط تساوي الضغط
cell	الخلية
mixture	خليط
hypha	الخيط الفطري
diatom	الدايتومات
humus	الدبال
temperature	درجة الحرارة
standard temperature and pressure	درجة الحرارة والضغط القياسيين
melting point	درجة إنصهار
boiling point	درجة غليان
superfound	دعم فائق
jet stream	الدفق النفاث
biogeochemical cycle	الدوارات الجيوكيميائية الحيوية
bio geochemical cycles	الدورات الجيوكيميائية الحيوية
carbon cycles	دورات الكربون
hydrological cycle	الدورات المائية
nutrient cycle	دورات المغذيات
period	دورة
thermal circulation	الدورة الحرارية
phosphorus cycle	دورة الفسفور
sulfur cycle	دورة الكبريت
hydrologic cycle	الدورة المائية
nitrogen cycle	دورة النتروجين
Krebs cycle	دورة كربس
worms	ديدان
procaryotic	ذات النواة الكاذبة
autotrophs	ذاتيات التغذية
autotrophic	ذاتية التغذية
atoms	ذرات

euphotic	ذو صلة بالطبقة العليا للبحيرة
lotic	ذو علاقة بالمياه الجارية
lentic	ذو علاقة بالمياه الراكدة
limnetic	ذو علاقة بالمياه العذبة
solubility	ذوبان
precipitate	راسب
earth's natural capital	رأسمال الأرض الطبيعي
leachate	الراشح
ribosomes	الرايبوزومات
sedimentary	رسوبي
sediments	الرسوبيات
Lead	الرصاص
humidity	الرطوبة
relative humidity	الرطوبة النسبية
overgrazing	الرعي الجائر
Avogadro’s number	رقم أفوغادرو
summer stagnation	الركود الصيفي
substrate	ركيزة
saprophyte	الرماميات
midnight dumping	الرمي الغير قانوني للفضلات
ionic bonds	روابط أيونية
covalent bond	روابط تساهمية
chemical bonds	روابط كيميائية
guano	روث الطيور
irrigation	الرى
wind	الرياح
advance winds	الرياح التأفقية
slope wind	رياح المنحدر
valley winds	رياح الوادي
winds and breeze	الرياح والنسيم
plume	الريشة
land farming	زراعة الأرض
nektons	السابحات صغار الأحياء السابحة
littoral	ساحلي
secondary exposure pathways	سارات التعرض الثانوية
cytoplasm	السايتوبلازم
cytochrome	السايتوكروم

liquid	سائل
soil boring	سبر التربة
grout curtain	ستارة إسمنتية
stratosphere	الستراتوسفير
stratosphere	الستراتوسفير
plume	سحابة دخانية
neustons	السطحيات
calorie	سُعر
food chain	سلسلة الغذاء
toxin	السم
toxicity	السمية
toxicity	السّمية
leach liquors	سوائل الرشح
dense nonaquous-phase liquids DNAPLs	سوائل الطور الغير مائي الكثيفة
Right nonaquous-phase liquids LNAPLs	سوائل الطور غير المائي الخفيفة
flagella	سوط
sinoflagellates	السوطيات الدوارة
soil profile	سيماء التربة
dystrophic	سيئ التغذية
endoplasmic reticulum	الشبكة الاندوبلازمية
food web	شبكة الغذاء
nucleoid	شبه النواة
silage liquor	شراب العلف شبه المتخمر
transnational corporations	الشركات العابرة للقارات
chlorophyll	صبغة الكلوروفيل
solid	صلب
apoenzyme	صميم الإنزيم
stability class	صنف الإستقرار
magma	صهارة
chemical formula	صيغة كيميائية
smog	الضبخان
smog	الضبخان
sulfurous smog	الضبخان الكبيرتي
photochemical smog	الضبخان الكيميائي الضوئي
photochemical smog	الضبخان الكيميائي الضوئي

Photochemical smog	الضبخان الكيميائي الضوئي
Control of diposal	ضبط التخلص
sulfurous smog	الضخاب الكبريتي
pressure	الضغط
pressure	ضغط
pressure	الضغط
energy	الطاقة
geothermal power	الطاقة الحرارية الأرضية
geothermal energy	الطاقة الحرارية الجوفية
hypolimnion	الطبقة السفلي من البحيرة
epilimnion	الطبقة العليا من البحيرة
profundal	الطبقة المائية المعتمة العميقة
algae	طحالب
algae	طحالب
dry tower method	طريقة البرج الجاف
trench method	طريقة الخندق
scientific method	الطريقة العلمية
Cooling tower method	طريقة برج التبريد
loam	الطفل الرملي
parasite	الطفيل
weather	الطقس
weather	الطقس
biological oxygen demand BOD	الطلب الحيوي على الأوكسجين
biological oxygen demand	الطلب الحيوي على الأوكسجين
biochemical oxygen demand bod	الطلب الكيميائي الحيوي على الأوكسجين
chemical oxygen demand	الطلب الكيميائي على الأوكسجين
bacteriophage	العاثي أولاقم البكتريا
pedologist	عالم تربة
limiting factor	العامل المحدد
cofactor	العامل المساعد
wind chill factor	عامل قشعريرة الرياح
threshold of effect	عتبة التأثير
atomic number	عدد ذري
in situ isolation/containment	عزل/ إحتواء موضعى
Hardness	عسرة
carbonate hardness	عسرة الكربونات
noncarbonated hardness	عسرة غير الكربونات
bacilli	العصوية

organelle	العضية
turbidity	العكورة
dose-response relationship	العلاقة بين الجرعة والاستجابة
capsule	العلبة أوالكبسولة
science	العلم
microbiology	علم الأحياء الدقيقة
meteorology	علم الأرصاد الجوي
ecology	علم البيئة
ecotoxicology	علم السموم البيئي
environmental toxicology	علم السموم البيئي المحيطي
mycology	علم الفطريات
environmental science	علم المحيط
limnology	علم المياه العذبة
anaerobic processes	العمليات اللاهوائية
thermal treatment processes	عمليات المعالجة الحرارية
biological treatment processes	عمليات المعالجة الحيوية
aerobic processes	العمليات الهوائية
cold-mix asphalt process	عملية أسفلت المزج البارد
hot-mix asphalt process	عملية أسفلت المزج الساخن
composting	عملية إنتاج الأسمدة
cement production process	عملية إنتاج الأسمنت
coal gasification process	عملية تحويل الفحم إلى غاز
brick manufacturing process	عملية تصنيع الطوب
soil forming process	عملية تكوين التربة،
elements	عناصر
management factors	عوامل الإدارة
soil factor	عوامل التربة
pathogens	العوامل الممرضة
environmental factor	عوامل بيئية
grab samples	العينات الانتزاعية
composite sample	العينات المركبة
representative sample	العينة الممثلة
gas	غاز
blowby	غاز الإحتراق المتسرب
Greenhouse gases	غازات الدفيئة
conidia	غبيرات
gram	الغرام

Hazardous substance	غرض خطر
colloidal	غروي
soil washing and extraction	غسل وإستخلاص التربة
pellicle	غشاء
flexible – membrane liner FML	غشاء البطانة المرن
plasma membrane	الغشاء البلازمي
cell membrane	غشاء الخلية
geosphere	الغلاف الأرضي
atmosphere	الغلاف الجوي
atmosphere	الغلاف الجوي
atmosphere	الغلاف الجوي
atmosphere	الغلاف الجوي
biosphere	الغلاف الحيوي
hydrosphere	الغلاف المائي
hydrosphere	الغلاف المائي
lithosphere	الغلاف أو القشرة الأرضية
abiotic	غير حيوي
abiotic	غير حيوي
Nonvolatile	غير متطاير
anaerobic	غير هوائي
frustule	فرستول
piping failure	فشل الأنابيب
Animal wastes	فضلات حيوانية
Fungi	الفطريات
Fungi	فطريات
tilth	فلاحة التربة
metals	فلزات
metals	فلزات
fluoride	فلوريد
phosphates	الفوسفات
virulence	الفوعة
supradiabatic	فوق أدياباتيكي
virus	فيروس
virus	فيروس
biodegradable	قابل للتحلل الحيوي
reactive	قابل للتفاعل
ignitability	القابلية للاحتراق
base	قاعدة

alkalinity	قاعدية
benthic	قاعي
benthic	قاعية
comprehensive environmental compensation and ‹response liabilities act cercla	قانون الإستجابة البيئية الشاملة، والتعويضات، والمسؤولية القانونية
first law of thermodynamics	القانون الأول للديناميكا الحرارية
second law of thermodynamics	القانون الثاني للديناميكا الحرارية
conservation and ‹Resources recovery act RCRA	قانون الحفاظ على المصادر الطبيعية واستعادتها
resources conservation and recovery act RSRA	قانون الحفظ على الموارد وإسترجاعها
Superfund law	قانون الدعم الفائق
periodic law	القانون الدوري
ideal gas law	قانون الغاز المثالي
federal water pollution control act FWPCA	القانون الفدرالي للتحكم في تلوث الماء
Clean water act CWA	قانون الماء النظيف
Hazardous and solid waste act 1984	قانون النفايات الخطرة والصلبة للعام 1984
Clean Air Act	قانون الهواء النظيف
law of conservation of mass	قانون انحفاظ الكتلة
Superfund amendments and reauthorization act RCRA	قانون تعديلات واعادة تخويل سلطات الدعم الفائق
Community right-to-know act	قانون حق المجتمع ان يعرف
Safe drinking water act – SDWA	قانون ماء الشرب الآمن
cradle-to-grave act	قانون من المهد الى اللحد
Henry's law	قانون هنري
National priorities list NPL	قائمة الاولويات الوطنية
lithosphere	القشرة الأرضية
lead-mine scale	قشرة منجم الرصاص
crustacean	القشريات
Crustaceans	القشريات
soil structure tilth	قطاع عمودي للتربة،
alkalinity	القلوية
soil texture	قوام التربة
soil texture	قوام التربة
gas laws	قوانين الغازات

pressure gradient force	قوة فرق الضغط
biota	الكائنات الحية
electron	الكترون
mass	الكتلة
air mass	كتلة الهواء
mycelium	كتلة خيوط فطرية
density	الكثافة
density	كثافة
density	الكثافة
specific gravity	الكثافة النوعية
adsorption site density	كثافة موقع الإدمصاص
kelvin	كلفن
Chlorofluorocarbons CFCs	كلورات فلورات الكربون
chloroplast	الكلوروبلاست
Threshold reporting quantity	كمية عتبة الابلاغ
stockpile	كوم تخزين
organic chemistry	كيمياء عضوية
anaerobic	لا هو ائي
anaerobic	لا هوائي
nonmetals	اللافلزات
anaerobic	لاهوائي
litre	اللتر (وحدة حجم سوائل)
color	لون
Sanitary wastewater	ماء الصرف الصحي
Vadoze water	ماء فادوز
parent material	المادة الأم
particulate matter	المادة الحبيبية
airborne particulate matter	المادة الحبيبية المنقولة بواسطة الهواء
Hazardous material	مادة خطرة
Toxic chemical	مادة سامة
organic matter	مادة عضوية
colloidal material	مادة غروية
inorganic substance	مادة غير عضوية
endergonic	ماص للطاقة
hydrologic	مائي
pesticide	مبيد الآفات

pesticides	مبيدات الآفات
eutrophic	متخثث
meter	متر
volatile	متطاير
heterotrophs	متغايرات التغذية
heterotrophic	متغايرة التغذية
microbial community	مجتمع الأحياء الدقيقة
pioneer community	مجتمع رائد
sustainable societies	مجتمعات مستدامة
collector	المجمع
total dissolved solids	مجموع المواد الصلبة المذابة
dilute solutions	محاليل مخففة
impoundment	محتجز
surface impoundments	المحتجزات السطحية
clay content	محتوى طيني
water content	محتوى مائى
limited	محدود
biostimulant	محفز حيوي
brine	المحلول الملحي المركز
aqueous solution	محلول مائي
concentrated solution	محلول مركز
saturated solution	محلول مشبع
catalytic converter	المحول الحفزي
fertilizer	مخصب
fertilizers	مخصبات
atomic orbital/electronic shell	مداري ذري/غلاف إلكتروني
solute	مذاب
taste and odor	المذاق والرائحة
solvent	مذيب
monitoring	المراقبة
electrostatic precipitator	مرسب كهروستاتيكي
adsorption	مرسبات الجاذبية
baghouse filter	المرشح الكيسي
compound	مركب
volatile organic compounds VOC_s	المركبات العضوية المتطايرة
thermal incinerator	المرمد الحراري

exposure pathway	مسار تعرض
primary exposure pathways	مسارات التعرض الأساسية
soil porosity and permeability	مسامية وإنفاذية التربة
anger	مسبار التربة
watershed	مستجمع الأمطار
catchment	مستجمعات المياه
primary consumers	المستهلكات الأولية
consumers	المستهلكين
reservoir	مستودع
trophic level	المستوى الغذائي
Water table	مستوى المياه الجوفية
thermocline aquifer	مستوي المياه الجوفية
Maximum containment level MCL	مستويات التلوث القصوى
suggested levels	المستويات المقترحة
habitat	مسكن، موئل
inclusion	المشتملات
anthrapogenic sources	المصادر البشرية
stationary sources	المصادر الثابتة
mobile sources	المصادر المتحركة
mobile sources	المصادر المتحركة
agricultural sources	مصادر زراعية
sinks	المصبات
nonpoint source	مصدر غير نقطي
Point source	مصدر نقطي
resource	مصدر، مورد
anticyclones	مضادات الزوابع
acid rain	المطر الحمضي
acid rain	المطر الحمضي
acid rain	المطر الحمضي
infiltration galleries	معابر الترشيح
mass balance equations	معادلات توازن لكتلة
chemical equation	معادلة كيميائية
Heavy metals	المعادن الثقيلة
toxic metals	المعادن السامة
preliminary treatment	المعالجة الإبتدائية
biological treatment	المعالجة الأحيائية
land treatment	معالجة الأرض
primary treatment	المعالجة الأولية

soil remediation	معالجة التربة
secondary treatment	المعالجة الثانوية
advanced wasterwater treatment	المعالجة المتقدمة لمياه الصرف الصحي
biosolid treatment	معالجة المواد الصلبة الأحيائية
thermal treatment	معالجة حرارية
in situ passive remediation	معالجة سالبة موضعية
animal feedlots	معالف الحيوانات
secondary standards	المعايير الثانوية
secondary drinking and extraction	المعايير الثانوية لمياه الشرب
Primary standards	المعايير الرئيسية.
National Ambient Air Quality Standards	المعايير الوطنية لجودة الهواء المحيط
lapse rate	معدل الإنقضاء
dry adiabatic lapse rate	معدل الإنقضاء الأدياباتيكي الجاف
normal lapse rate	معدل الإنقضاء العادي
adiabatic lapse rate	معدل إنقضاء أدياباتيكي
nutrient	مغذي
limiting nutrient	مغذي محدد
nutrient	المغذيات
nutrients	مغذيات
decomposers	المفككات
decomposers	المفككات
rotifers	المفككات
rotifers	مفككات دولابيات
dumps	مقالب النفايات
watershed divide	مقسم مستجمع المياه
secure landfill	مكّب نفايات آمن
sanitary landfill	مكّب نفايات صحي
condenser	مكثف
condenser	مكثف
contact condenser	مكثف التماس
surface condenser	مكثف السطح
contact condenser	مكثف تماس
aquifer	مكمن مستودع مياه جوفية
aquifer	مكمن مياه جوفية
vadose water	مكمن مياه جوفية غير محصور
confined aquifer	مكمن مياه جوفية محصور
cocci	المكورات
primary pollutants	الملوثات الرئيسية

water pollutants	ملوثات الماء
air pollutants	ملوثات الهواء
industrial pratices	الممارسات الصناعية
meromictic	ممتزج جزئياً
pathogen	المُمرِض
climate	المناخ
climate	المناخ
producers	المنتجات
Commercial chemical products	المنتجات الكيميائية التجارية
producers	المنتجين
maximum sustainable yield	المنتوج الأقصى المستدام
dose-response curve	منحنى الجرعة والاستجابة
growth curve	منحنى النمو
dose-reponse curve	منحنى جرعة – إستجابة
oxygen sag curve	منحناالأوكسجين المنخفض
recharge area	منطقة إعادة الشحن
zone of weathering	منطقة التجوية.
recovery zone	منطقة التعافي
zone of recent pollution	منطقة التلوث الحديث
rapids zone	منطقة التيارات السريعة
pool zone	منطقة حوض
unsaturated zone	منطقة غير مشبعه
saturated zone	منطقة مشبعة
septic zone	منطقة نتنة
clean zone	منطقة نظيفة
wet scrubber	منقي الغازات الرطب
toxic or hazardous substance	المواد الخطرة أوالسامة
persistant substance	المواد الدائمة
xenobiotics	المواد الغريبة على البيئة
radioactive substance	المواد المشعة
waterborne pathogens	المواد الممرضة المنقولة بواسطة الماء
perpetual sources	الموارد الأبدية

renewable resources	الموارد المتجددة
non-renewable resources	الموارد غير المتجددة
afterburners	المواقد الخلفية
surfactant	موتر سطحي
airborne contaminants	الموثات المنقولة بالهواء
heat index	مؤشر الحرارة
biotic index	المؤشر الحيوي
niche	موضع، أو عش
mole	مول
groundwater	المياه الجوفية
groundwater	المياه الجوفية
ground water	المياه الجوفية
graund water	المياه الجوفية
surface water	المياه السطحية
surface water	المياه السطحية
sewage	مياه الصرف الصحي
Combined wastewater	مياه الصرف الصحي المجمعه
domestic wasterwater	مياه الصرف الصحي المنزلي
waste water	مياه الصرف الصحي.
industrial wastewater	مياه الصرف الصناعي
storm water	مياه العواصف الممطرة
saline water	المياه المالحة
ground water	مياه جوفية
brackish water	المياه منخفضة الملوحة
mitochondria	الميتوكندريا
methane	ميثان
mesosphere	الميزوسفير
mesosome	ميزوسوم
slope	الميل
water table	الميلان الحراري
igneous	ناري
emergent	الناشئات

submerged vegetation	النباتات المغمورة
floating leaf vegetation	نباتات ذات أوراق طافية
emergent vegetation	نباتات ناشئة
evapotranspiration	النتح التبخري
nitrates	النترات
nitrification	النترجة
total kjeldahl nitrogen TKN	نتروجين جلدهال الكلي
dewatering	نزح الماء
dewatering	نزح المياه
salt spreading	نشر الملح
puming well system	نظام آبار الضخ
Permitting system	نظام اذونات
United nations hazard class number system	نظام الأمم المتحدة العددي لتصنيف الأخطار.
binomial system of nomenclature	نظام التسمية الثنائية
ecosystem	نظام بيئي
Tracking system	نظام تعقب
electron transport system	نظام نقل الإلكترونات
depletion	النفاد
tailings	نفايات
mining waste	نفايات التعدين
Specific source waste	النفايات ذات المصادر المحددة
Nonspecific source wastes	النفايات ذات المصادر غير المحددة
winter kill	النفوق الشتوي
hot soak	النقيع الساخن
modeling	النمذجة
growth	النمو
cell nucleus	نواة الخلية
vectors	نواقل
neutron	نيوترون
hydrocarbon	هايدروكربون

aliphatic hydrocarbon	هايدروكربون اليفاتي
aromatic hydrocarbons	هايدروكربونات أروماتية أو عطرية
cilia	هدب (أهداب)
friable	هش
air	الهواء
aerobic	هوائي
aerobic	هوائي
aerobic	هوائية
hydrocarbons	الهيدروكربونات
manifest	وثيقة بيان
absorption units	وحدات الإمتصاص
peds	وحدات بنية التربة
weight	الوزن
atomic weight	الوزن الذري
formula weight	وزن الصيغة
molecular weight	وزن جزيئي
albedo	الوضاءة
leaching	يرشح
pollute	يلوث
oxidize	يؤكسد

ثبت المصطلحات

انجليزي – عربي

abiotic	غير حيوي
absorption	إمتصاص
absorption units	وحدات الإمتصاص
accidental spills	الإنسكابات العرضية
acid	حمض
acid deposition	الترسب الحمضي
acid mine drainage	تجفيف المنجم الحمضي
acid mine drainage	تجفيف ماء المناجم الحمضي
acid rain	المطر الحمضي
adiabatic	أدياباتيكي
adiabatic lapse rate	معدل إنقضاء أدياباتيكي
adsorption	إدمصاص
adsorption	مرسبات الجاذبية
adsorption site density	كثافة موقع الإدمصاص
advance winds	الرياح التأفقية
advanced wasterwater treatment	المعالجة المتقدمة لمياه الصرف الصحي
aerobic	هوائي
aerobic	هوائي
aerobic	هوائية
aerobic processes	العمليات الهوائية
afterburners	المواقد الخلفية
aggregate	تجمع
aggregate	تجمع
agricultural sources	مصادر زراعية
air	الهواء
air current	تيار الهواء
air currents	تيارات الهواء
air mass	كتلة الهواء
air pollutants	ملوثات الهواء
air pollution	تلوث الهواء
air stripping	تعرية الهواء
air stripping	تعرية الهواء
airborne contaminants	الموثات المنقولة بالهواء

airborne particulate matter	المادة الحبيبية المنقولة بواسطة الهواء
albedo	الوضاءة
algae	طحالب
algae	طحالب
aliphatic hydrocarbon	هايدروكربون اليفاتي
alkalinity	قاعدية
alkalinity	القلوية
alkanes	الألكانات
alkenes	الألكينات
alkynes	الألكاينات
amoeba	أميبيا
anabolism	الأيض البنائي
anaerobic	غير هوائي
anaerobic	لا هو ائي
anaerobic	لا هوائي
anaerobic	لاهوائي
anaerobic processes	العمليات اللاهوائية
analysis	تحليل
anger	مسبار التربة
animal feedlots	معالف الحيوانات
Animal wastes	فضلات حيوانية
anthrapogenic sources	المصادر البشرية
anticyclones	مضادات الزوابع
apoenzyme	صميم الإنزيم
aqueous solution	محلول مائي
aquifer	مكمن مستودع مياه جوفية
aquifer	مكمن مياه جوفية
aromatic hydrocarbons	هايدروكربونات أروماتية أو عطرية
asphalt incorporation	إدماج الأسفلت
atmosphere	الغلاف الجوي
atmosphere	الغلاف الجوي
atmosphere	الغلاف الجوي
atmosphere	الغلاف الجوي
atomic number	عدد ذري
atomic orbital/electronic shell	مداري ذري/غلاف إلكتروني

atomic weight	الوزن الذري
atoms	ذرات
automatic samplers	آخذات العينات الآلية
autotrophic	ذاتية التغذية
autotrophs	ذاتيات التغذية
Avogadro's number	رقم أفوغادرو
bacilli	العصوية
bacteria	البكتريا
bacteria	البكتيريا
bacteriophage	العاثي أولاقم البكتريا
baghouse filter	المرشح الكيسي
bare rock succession	تعاقب الصخور العارية
base	قاعدة
beneficial reuse	إعادة إستخدام مفيدة
benthic	قاعي
benthic	قاعية
best available technology	أفضل التقنيات المتوفرة
binomial system of nomenclature	نظام التسمية الثنائية
bio geochemical cycles	الدورات الجيوكيميائية الحيوية
bioaccumulation	التراكم الحيوي
biochemical oxygen demand bod	الطلب الكيميائي الحيوي على الأوكسجين
biodegradable	قابل للتحلل الحيوي
biogeochemical cycle	الدوارات الجيوكيميائية الحيوية
biological oxygen demand	الطلب الحيوي على الأوكسجين
biological oxygen demand BOD	الطلب الحيوي على الأوكسجين
biological treatment	المعالجة الأحيائية
biological treatment processes	عمليات المعالجة الحيوية
biology	الأحياء
biosolid treatment	معالجة المواد الصلبة الأحيائية
biosphere	الغلاف الحيوي
biostimulant	محفز حيوي
biota	الكائنات الحية
biotic	أحيائي
biotic index	المؤشر الحيوي
blowby	غاز الإحتراق المتسرب
boiling point	درجة غليان
brackish water	المياه منخفضة الملوحة

brick manufacturing process	عملية تصنيع الطوب
brine	المحلول الملحي المركز
budding	التبرعم
calorie	سُعر
capsule	العلبة أوالكبسولة
carbon adsorption	إدمصاص الكربون
carbon cycles	دورات الكربون
carbon dioxide	ثاني أوكسيد الكربون
carbon monoxide	أول أوكسيد الكربون
carbonate hardness	عسرة الكربونات
catabolism	الأيض الهدمي
catalysis	الحفز
catalytic combustion	الإحتراق الحفزى
catalytic converter	المحول الحفزي
catchment	مستجمعات المياه
cell	الخلية
cell membrane	غشاء الخلية
cell nucleus	نواة الخلية
cell wall	جدار الخلية
cement production process	عملية إنتاج الأسمنت
chemical bonds	روابط كيميائية
chemical change	تغيير كيميائي
chemical equation	معادلة كيميائية
chemical extraction	إستخلاص كيميائي
chemical formula	صيغة كيميائية
chemical oxygen demand	الطلب الكيميائي على الأوكسجين
chemical precipitation	الترسيب الكيميائي
chemical reaction	تفاعل كيميائي
chemical weathering	التجوية الكيميائية
chemosynthesis	التخليق الكيميائي
Chlorofluorocarbons CFCs	كلورات فلورات الكربون
chlorophyll	صبغة الكلوروفيل
chloroplast	الكلوروبلاست
cilia	هدب (أهداب)
Clarification	الترشيح بالإبانة
clay content	محتوى طيني
Clean Air Act	قانون الهواء النظيف

Clean water act CWA	قانون الماء النظيف
clean zone	منطقة نظيفة
climate	المناخ
climate	المناخ
coal gasification process	عملية تحويل الفحم إلى غاز
cocci	المكورات
cofactor	العامل المساعد
cold front	جبهة باردة
cold-mix asphalt process	عملية أسفلت المزج البارد
collector	المجمع
colloidal	غروي
colloidal material	مادة غروية
color	لون
Combined wastewater	مياه الصرف الصحي المجمعه
combustion	إحتراق
Commercial chemical products	المنتجات الكيميائية التجارية
Community right-to-know act	قانون حق المجتمع ان يعرف
composite sample	العينات المركبة
composting	عملية إنتاج الأسمدة
compound	مركب
comprehensive environmental compensation and ‹response liabilities act cercla	قانون الإستجابة البيئية الشاملة، والتعويضات، والمسؤولية القانونية
concentrated solution	محلول مركز
condenser	مكثف
condenser	مكثف
conduction	التوصيل
conduction	التوصيل
confined aquifer	مكمن مياه جوفية محصور
conidia	غبيرات
consumers	المستهلكين
contact condenser	مكثف التماس
contact condenser	مكثف تماس
Control of diposal	ضبط التخلص
convection	الحمل
convection	الحمل
conviction	الحمل
Cooling tower method	طريقة برج التبريد

corrosive	حاتّة
covalent bond	روابط تساهمية
cradle-to-grave act	قانون من المهد الى اللحد
crustacean	القشريات
Crustaceans	القشريات
cultural eutrophication	تخثث مستحدث
cyclone diffusion	إنتشار الزوبعة
cytochrome	السايتوكروم
cytoplasm	السايتوبلازم
decomposers	المفككات
decomposers	المفككات
decomposition	التحلل
deep well injection	حقن الآبار العميقة
dense nonaquous-phase liquids DNAPLs	سوائل الطور الغير مائي الكثيفة
density	الكثافة
density	كثافة
density	الكثافة
depletion	النفاد
desertification	التصحر
detoxification	إزالة السّمية
dewatering	نزح الماء
dewatering	نزح المياه
diatom	الدايتومات
dilute solutions	محاليل مخففة
direct flame combustion	إحتراق اللهب المباشر
disinfection	التعقيم
dispersion	التشتت
dissolved oxygen	الأوكسجين المذاب
do dissolved oxygen	أوكسجين مذاب
domestic wasterwater	مياه الصرف الصحي المنزلي
dose-reponse curve	منحنى جرعة – إستجابة
dose-response curve	منحنى الجرعة والاستجابة
dose-response evaluation	تقييم التعرض
dose-response relationship	العلاقة بين الجرعة والاستجابة
drainage basin	حوض التجفيف
drainage basin	حوض تجفيف
dry adiabatic lapse rate	معدل الإنقضاء الأدياباتيكي الجاف

dry tower method	طريقة البرج الجاف
dumps	مقالب النفايات
dystrophic	سيئ التغذية
earth's natural capital	رأسمال الأرض الطبيعي
ecology	علم البيئة
ecosystem	نظام بيئي
ecotoxicology	علم السموم البيئي
electrolytic recovery technique	تقانات الإستعادة عن طريق التحليل الكهربائي
electron	الكترون
electron transport system	نظام نقل الإلكترونات
electrostatic precipitator	مرسب كهروستاتيكي
elements	عناصر
Emergency response	استجابة طوارئ
emergent	الناشئات
emergent vegetation	نباتات ناشئة
endergonic	ماص للطاقة
endoplasmic reticulum	الشبكة الاندوبلازمية
energy	الطاقة
enkaryotic	حقيقية النواة
entropy	الأنتروبيا
enviroment	البيئة
environmental factor	عوامل بيئية
environmental science	التدهور البيئي
environmental science	علم المحيط
environmental toxicology	علم السموم البيئي المحيطي
enzymes	الإنزيمات
epilimnion	الطبقة العليا من البحيرة
euphotic	ذو صلة بالطبقة العليا للبحيرة
eutrophic	متخثث
eutrophic lake	بحيرة متخثثة
eutrophication	تخثث
evaporative emissions	إنبعاثات تبخرية
evapotranspiration	النتح التبخري
excavation	الحفر
excavation	حفر
excavation and disposal	الحفر والتخلص
exergonic	باعث للطاقة

exposure pathway	مسار تعرض
Extraction procedure EP	إجراء الاستخلاص
extraction well	بئر الإستخلاص
Extremely hazardous materials	الأغراض الخطرة جداً
facultative	إختياري
federal water pollution control act FWPCA	القانون الفدرالي للتحكم في تلوث الماء
fermentation	التخمير
fertilizer	مخصب
fertilizers	مخصبات
filtration	الترشيح
first law of thermodynamics	القانون الأول للديناميكا الحرارية
flagella	سوط
flare	توهج
flexible – membrane liner FML	غشاء البطانة المرن
floating leaf vegetation	نباتات ذات أوراق طافية
fluoride	فلوريد
food chain	سلسلة الغذاء
food web	شبكة الغذاء
formula weight	وزن الصيغة
friable	هش
front	جبهة
frustule	فرستول
fumigation	تدخين، تعفير
Fungi	الفطريات
Fungi	فطريات
gas	غاز
gas laws	قوانين الغازات
general biological succession	التعاقب الحيوي العام
genome	الجينوم
genus	الجنس
geology	الجيولوجيا
geophysical testing	الإختبار الجيوفيزيائي
geosphere	الغلاف الأرضي
geothermal energy	الطاقة الحرارية الجوفية
geothermal power	الطاقة الحرارية الأرضية
Global warming	الإحترار الكوني

glycolysis	التحلل الجلكوزي
grab samples	العينات الانتزاعية
gram	الغرام
graund water	المياه الجوفية
gravity	الجاذبية
gravity settlers	الإدمصاص
greenhouse effect	تأثير الدفيئة (البيت الزجاجي)
Greenhouse effect	تأثير غاز الدفيئة
greenhouse effect	تأثير غازات الدفيئة البيت الزجاجي
Greenhouse gases	غازات الدفيئة
ground water	المياه الجوفية
ground water	مياه جوفية
groundwater	المياه الجوفية
groundwater	المياه الجوفية
grout curtain	ستارة إسمنتية
growth	النمو
growth curve	منحنى النمو
guano	روث الطيور
habitat	مسكن، موئل
Hardness	عسرة
Hazardous and solid waste act 1984	قانون النفايات الخطرة والصلبة للعام 1984
hazardous and solid waste amendments HSWA	تعديلات قانون النفايات الخطرة والصلبة
Hazardous chemicals	الأغراض الكيميائية الخطرة
Hazardous material	مادة خطرة
Hazardous substance	غرض خطر
hazardous wastes tream	تيار نفايات خطرة
heat	حرارة
heat balance	توازن الحرارة
heat index	مؤشر الحرارة
Heat islands	الجزر الحرارية
Heavy metals	المعادن الثقيلة
Henry's law	قانون هنري
heterotrophic	متغايرة التغذية
heterotrophs	متغايرات التغذية
holoenzyme	الإنزيم الكامل

horizon	الأفق، النطاق
hot soak	النقيع الساخن
hot-mix asphalt process	عملية أسفلت المزج الساخن
humidity	الرطوبة
humus	الدبال
hydraulic gradient	التدرج الهيدروليكي
hydrocarbon	هايدروكربون
hydrocarbons	الهيدروكربونات
hydrologic	مائي
hydrologic cycle	الدورة المائية
hydrological cycle	الدورات المائية
hydrosphere	الغلاف المائي
hydrosphere	الغلاف المائي
hypha	الخيط الفطري
hypolimnion	الطبقة السفلي من البحيرة
ideal gas law	قانون الغاز المثالي
igneous	ناري
ignitability	القابلية للاحتراق
impaction	إصطدام
impoundment	محتجز
in situ biodegradation	التحليل الحيوي الموضعى
in situ isolation/containment	عزل/ إحتواء موضعى
in situ leaching and chemical reaction	ترشيح وتفاعل كيميائي موضعي
in situ passive remediation	معالجة سالبة موضعية
Incineration	الترميد
incineration	الحرق
incineration	حرق،ترميد
inclusion	المشتملات
industrial pratices	الممارسات الصناعية
industrial wastewater	مياه الصرف الصناعي
infiltration galleries	معابر الترشيح
Infrared radiation	الأشعة تحت الحمراء
injection well	آبار الحقن
innovative cleanup technology	تقانة تنظيف مبتكرة
inorganic substance	مادة غير عضوية
insitu technologies	التقانات الموضعية
insitu vitrification	تزجيج الموضعي

interception	إعتراض
ionic bonds	روابط أيونية
irrigation	الرى
isobar	خطوط تساوي الضغط
jet stream	الدفق النفاث
kelvin	كلفن
Krebs cycle	دورة كربس
land farming	زراعة الأرض
land treatment	معالجة الأرض
lapse rate	معدل الإنقضاء
latent heat of evaporation	الحرارة الكامنة للتبخر
latent heat of fusion	الحرارة الكامنة للإنصهار
law of conservation of mass	قانون انحفاظ الكتلة
laxative effect	تأثير مسهل
leach liquors	سوائل الرشح
leachate	الراشح
leaching	يرشح
Lead	الرصاص
lead-mine scale	قشرة منجم الرصاص
Leaking underground storage tank LUST	أحواض التخزين الجوفية المسربة
lentic	ذو علاقة بالمياه الراكدة
limited	محدود
limiting factor	العامل المحدد
limiting nutrient	مغذي محدد
limnetic	ذو علاقة بالمياه العذبة
limnology	علم المياه العذبة
liquid	سائل
lithosphere	الغلاف أو القشرة الأرضية
lithosphere	القشرة الأرضية
litre	اللتر (وحدة حجم سوائل)
littoral	ساحلي
loam	الطفل الرملي
lotic	ذو علاقة بالمياه الجارية
magma	صهارة
management factors	عوامل الإدارة
manifest	وثيقة بيان
mass	الكتلة

mass balance equations	معادلات توازن لكتلة
mature pond	بحيرة ناضجة
Maximum containment level MCL	مستويات التلوث القصوى
maximum sustainable yield	المنتوج الأقصى المستدام
melting point	درجة إنصهار
meromictic	ممتزج جزئياً
mesosome	ميزوسوم
mesosphere	الميزوسفير
mestrophic lake	بحيرة وسطية التغذية
metabolic transformation	التحولات الاستقلابية
metabolism	الإستقلاب / الأيض
metalloids	أشباه الفلزات
metals	فلزات
metals	فلزات
metamorphic oxidize	التحولية، متحولة، متعددة الوجوه
meteorology	علم الأرصاد الجوي
meter	متر
methane	ميثان
microbial community	مجتمع الأحياء الدقيقة
microbial degradation	التفكيك الميكروبي
microbiology	علم الأحياء الدقيقة
midnight dumping	الرمي الغير قانوني للفضلات
mining waste	نفايات التعدين
mitochondria	الميتوكندريا
mixture	خليط
mobile sources	المصادر المتحركة
mobile sources	المصادر المتحركة
mobilization	التحريك
modeling	النمذجة
molar concentration molarity	التركيز المولاريالمولارية
mole	مول
molecular weight	وزن جزيئي
molecule	جزيئ
monitor wells	آبار المراقبة
monitoring	المراقبة
Montreal Protocal	بروتوكول مونتريال

morphogenesis	تحول الشكل الظاهري
motility	الحركة
mycelium	كتلة خيوط فطرية
mycology	علم الفطريات
National Ambient Air Quality Standards	المعايير الوطنية لجودة الهواء المحيط
National priorities list NPL	قائمة الاولويات الوطنية
nektons	السابحات صغار الأحياء السابحة
neustons	السطحيات
neutrally stable atmosphere	جو مستقر بالتعادل
neutron	نيوترون
niche	موضع، أو عش
nitrates	النترات
nitrification	النترجة
nitrogen cycle	دورة النتروجين
nitrogen fixation	تثبيت النتروجين
nitrogen oxide	أوكسيد النتروجين
non in situ technology	تقانة غير موضعية
non point source pollution	التلوث ذوالمنشأ الخارجي
noncarbonated hardness	عسرة غير الكربونات
nonmetals	اللافلزات
nonpoint source	مصدر غير نقطي
non-renewable resources	الموارد غير المتجددة
Nonspecific source wastes	النفايات ذات المصادر غير المحددة
Nonvolatile	غير متطاير
normal lapse rate	معدل الإنقضاء العادي
nucleoid	شبه النواة
nutrient	مغذي
nutrient	المغذيات
nutrient cycle	دورات المغذيات
nutrients	مغذيات
oligotrophic lake	بحيرة شحيحة التغذية
organelle	العضية
organic chemistry	كيمياء عضوية
organic matter	مادة عضوية
overgrazing	الرعي الجائر
oxidation	الأكسدة
oxidation-reduction	اكسدة واختزال

oxidize	يؤكسد
oxygen	الأوكسجين
oxygen sag curve	منحنىالأوكسجين المنخفض
ozone	الأوزون
ozone hole	ثقب الأوزون
packed tower	البرج المعبأ
parasite	الطفيل
parent material	المادة الأم
particulate matter	المادة الحبيبية
pascal pa	باسكال
pathogen	المُمرض
pathogens	العوامل الممرضة
pedologist	عالم تربة
peds	وحدات بنية التربة
pellicle	غشاء
period	دورة
periodic law	القانون الدوري
periodic table	الجدول الدوري
permanent pond	بركة دائمة
Permitting system	نظام اذونات
perpetual sources	الموارد الأبدية
persistant substance	المواد الدائمة
pesticide	مبيد الآفات
pesticides	مبيدات الآفات
ph	الأس الهيدروجيني
phosphates	الفوسفات
phosphorus cycle	دورة الفسفور
photochemical reaction	التفاعل الكيميائي الضوئي
photochemical smog	الضبخان الكيميائي الضوئي
photochemical smog	الضبخان الكيميائي الضوئي
Photochemical smog	الضبخان الكيميائي الضوئي
photosynthesis	التمثيل الضوئي
physical change	التغير الفيزيائي
physical weathering	التجوية الفيزيائية
pioneer community	مجتمع رائد
piping failure	فشل الأنابيب

plankton	بلانكتون
plasma membrane	الغشاء البلازمي
plate tower	برج لوحي
plume	الريشة
plume	سحابة دخانية
Point source	مصدر نقطي
point source pollution	تلوث نقطة المصدر
pollute	يلوث
pond	بركة
pond succession	تعاقب البركة
pool zone	منطقة حوض
positive crankcase ventilation	تنفيس علبة المرافق الإيجابية
precipitate	راسب
preliminary treatment	المعالجة الإبتدائية
pressure	الضغط
pressure	ضغط
pressure	الضغط
pressure gradient force	قوة فرق الضغط
primary consumers	المستهلكات الأولية
primary exposure pathways	مسارات التعرض الأساسية
primary pollutants	الملوثات الرئيسية
Primary standards	المعايير الرئيسية.
primary treatment	المعالجة الأولية
procaryotic	ذات النواة الكاذبة
producers	المنتجات
producers	المنتجين
profundal	الطبقة المائية المعتمة العميقة
proton	بروتون
protozoa	البروتوزوا
protozoa	البروتوزوا
puming well system	نظام آبار الضخ
radiation	الإشعاع
radiative inversions	إنقلابات إشعاعية
radioactive substance	المواد المشعة
rapids zone	منطقة التيارات السريعة
reactive	قابل للتفاعل
recharge area	منطقة إعادة الشحن
recovery zone	منطقة التعافي

recycling	إعادة التدوير
recycling asssessment	تقانة إعادة تدوير
Reduction	الإختزال
relative humidity	الرطوبة النسبية
renewable resources	الموارد المتجددة
representative sample	العينة الممثلة
reservoir	مستودع
resource	مصدر، مورد
resources conservation and recovery act RSRA	قانون الحفظ على الموارد وإسترجاعها
conservation and ،Resources recovery act RCRA	قانون الحفاظ على المصادر الطبيعية واستعادتها
reuse	إعادة استخدام
ribosomes	الرايبوزومات
Right nonaquous-phase liquids LNAPLs	سوائل الطور غير المائي الخفيفة
risk assessment	تقييم المخاطر
risk characterization	تشخيص المخاطر
rotifers	المفككات
rotifers	مفككات دولابيات
run off	جريان
running losses	خسائر التشغيل
Safe drinking water act – SDWA	قانون ماء الشرب الآمن
saline water	المياه المالحة
salt spreading	نشر الملح
sanitary landfill	مكّب نفايات صحي
Sanitary wastewater	ماء الصرف الصحي
saprophyte	الرماميات
saturated solution	محلول مشبع
saturated zone	منطقة مشبعة
science	العلم
scientific method	الطريقة العلمية
Sea–level rise	إرتفاع مستوى البحر
second law of thermodynamics	القانون الثاني للديناميكا الحرارية
secondary drinking and extraction	المعايير الثانوية لمياه الشرب
secondary exposure pathways	سارات التعرض الثانوية
secondary standards	المعايير الثانوية
secondary treatment	المعالجة الثانوية

secure landfill	مكّب نفايات آمن
sedimentary	رسوبي
sediments	الرسوبيات
self-purification	تنقية ذاتية
senescent pond	بركة مسنة
separation	جرد/مسح العمليات الكيميائية الفصل
septic zone	منطقة نتنة
sewage	مياه الصرف الصحي
sheet piling	تكويم الصفائح
silage liquor	شراب العلف شبه المتخمر
sinks	المصبات
sinoflagellates	السوطيات الدوارة
slope	الميل
slope wind	رياح المنحدر
slurry walls	جدران ملاطية
smog	الضبخان
smog	الضبخان
soil	التربة
soil boring	سبر التربة
soil factor	عوامل التربة
soil fertility	خصوبة التربة
soil forming process	عملية تكوين التربة،
soil horizon	أفق التربة
soil pollution	تلوث التربة
soil porosity and permeability	مسامية وإنفاذية التربة
soil profile	سيماء التربة
soil remediation	معالجة التربة
soil sampling	أخذ عينات التربة
soil structure	بنية التربة
soil structure tilth	قطاع عمودي للتربة،
soil texture	قوام التربة
soil texture	قوام التربة
soil washing and extraction	غسل وإستخلاص التربة
solid	صلب
solidification	التصلب
solidification/stabilization	تصليب/تثبيت
solubility	ذوبان
solute	مذاب

solvent	مذيب
sorption	الإمتزاز
species	الأنواع
specific gravity	الكثافة النوعية
specific heat	الحرارة النوعية
Specific source waste	النفايات ذات المصادر المحددة
spoil	أنقاض
spore	بوغ
spores	أبواغ
sporilla	الحلزونيات
spring overturn	التحول الربيعي
stability	ثبات، استقرار
stability class	صنف الإستقرار
stabilization	التثبيت
stable atmosphere	جو مستقر
standard temperature and pressure	درجة الحرارة والضغط القياسيين
stationary sources	تكثيف المصادر الثابتة
stationary sources	المصادر الثابتة
stewardslup	إشراف
still bottoms	البواقي
stockpile	كوم تخزين
storm water	مياه العواصف الممطرة
stratification	التطبق
stratosphere	الستراتوسفير
stratosphere	الستراتوسفير
stripping	التعرية
subadiabatic	تحت أدياباتيكي
submerged vegetation	النباتات المغمورة
subsidence inversion	إنقلاب إنخسافي
subsoil	التربة التحتية
substrate	ركيزة
suggested levels	المستويات المقترحة
sulfur cycle	دورة الكبريت
sulfur dioxide	ثاني أوكسيد الكبريت
sulfurous smog	الضبخان الكبيرتي
sulfurous smog	الضخاب الكبريتي
summer stagnation	الركود الصيفي

superfound	دعم فائق
Superfund amendments and reauthorization act RCRA	قانون تعديلات واعادة تخويل سلطات الدعم الفائق
Superfund law	قانون الدعم الفائق
supradiabatic	فوق أدياباتيكي
surface condenser	مكثف السطح
surface impoundments	المحتجزات السطحية
surface origins	الأصول السطحية
surface water	المياه السطحية
surface water	المياه السطحية
surfactant	موتر سطحي
sustainable societies	مجتمعات مستدامة
symbiotic	تكافلية
synthesis	تخليق، توليد
tailings	خبث
tailings	نفايات
taste and odor	المذاق والرائحة
temperature	الحرارة
temperature	درجة الحرارة
temperature inversion	إنقلاب درجة الحرارة
thermal circulation	الدورة الحرارية
thermal incinerator	المرمد الحراري
thermal inversion	الإنقلاب الحراري
thermal NO_x	أكاسيد النتروجين الحرارية
thermal pollution	التلوث الحراري
thermal pollution	التلوث الحراري
thermal pollution	التلوث الحراري
thermal pollution	التلوث الحراري
thermal radiation	الإشعاع الحراري
thermal treatment	معالجة حرارية
thermal treatment processes	عمليات المعالجة الحرارية
thermocline aquifer	مستوي المياه الجوفية
thermosphere	الثرموسفير
threshold of effect	عتبة التأثير
Threshold reporting quantity	كمية عتبة الابلاغ
tilth	فلاحة التربة
top soil	التربة الفوقية
total dissolved solids	مجموع المواد الصلبة المذابة
total kjeldahl nitrogen TKN	نتروجين جلدهال الكلي

Toxic chemical	مادة سامة
toxic metals	المعادن السامة
toxic or hazardous substance	المواد الخطرة أوالسامة
toxicity	السمية
toxicity	السّمية
Toxicity characterstics leaching procedure TCLP	إجراء خواص السّمية والرشح
toxicological evaluation	تقييم السمية
toxin	السم
Tracking system	نظام تعقب
transformation	التحول
transnational corporations	الشركات العابرة للقارات
trench method	طريقة الخندق
trenching	التخندق
trophic level	المستوى الغذائي
troposphere	التروبوسفير
troposphere	التروبوسفير
turbidity	العكورة
turbulance	إضطراب
turnover	تحول
underground storage tanks USTs	أحواض التخزين الجوفية
United nations hazard class number system	نظام الأمم المتحدة العددي لتصنيف الأخطار.
unsaturated zone	منطقة غير مشبعه
unstable atmosphere	جو غير مستقر
vacuole	حويصلة
vadose water	مكمن مياه جوفية غير محصور
Vadoze water	ماء فادوز
valence	تكافؤ
valley winds	رياح الوادي
vectors	نواقل
venting	التطيير
venting	التنفيس
venturi	البخاخ
vernal ponds	البرك الربيعية
virulence	الفوعة
virus	فيروس
virus	فيروس

volafilization	تطيير الموضعي
volatile	متطاير
volatile organic compounds VOC_s	المركبات العضوية المتطايرة
volume	الحجم
warm front	جبهة دافئة
waste minimization	تقليل التفايات
waste piles	أكوام النفايات
waste water	مياه الصرف الصحي.
water content	محتوى مائى
water pollutants	ملوثات الماء
water pollution	تلوث الماء
water pollution	تلوث الماء.
Water table	مستوى المياه الجوفية
water table	الميلان الحراري
water vapour	بخار الماء
waterborne pathogens	المواد الممرضة المنقولة بواسطة الماء
watershed	مستجمع الأمطار
watershed divide	مقسم مستجمع المياه
weather	الطقس
weather	الطقس
weathering	التجوية
weathering	التجوية،
weight	الوزن
wet scrubber	منقي الغازات الرطب
wind	الرياح
wind chill factor	عامل قشعريرة الرياح
winds and breeze	الرياح والنسيم
winter kill	النفوق الشتوي
winter stratification	التطبق الشتوي
worms	ديدان
xenobiotics	المواد الغريبة على البيئة
young pond	بركة شابة
zone of recent pollution	منطقة التلوث الحديث
zone of weathering	منطقة التجوية.

الفهرس

ـ أ ـ

الأترازين: 465 ـ 467
الإتزان الأيوني: 225، 236
الإحترار الكوني: 192، 592 ـ 594، 596 ـ 606، 620 ـ 622
الإحترار والابتراد الكوني: 602 ـ 603
الإحتكاك: 383، 426، 464، 507 ـ 508
الأحماض: 38، 107، 109، 130 ـ 132، 142، 144 ـ 145، 149، 154 ـ 157، 160 ـ 161، 164، 184، 197، 199 ـ 200، 205 ـ 207، 265 ـ 266، 268، 270، 305، 308، 322 ـ 324، 459 ـ 461، 464 ـ 465، 492، 548، 613 ـ 614، 679، 717، 724، 863، 882، 885، 1087، 1090، 1110
الإدمصاص: 165، 170، 224 ـ 225، 236، 626، 629، 651، 653، 655، 657، 673، 709، 711، 977
الأراضي المنخفضة: 62
الأس الهيدروجيني: 107، 109، 111، 131 ـ 132، 155 ـ 157، 161، 163، 168، 203، 214 ـ 216، 236، 242، 244، 271، 275، 287، 300، 309 ـ 310، 328، 331 ـ 333، 338 ـ 339، 403، 413، 431، 459، 461، 593، 612 ـ 614، 717، 730، 734، 811، 881، 885 ـ 886، 927، 1010، 1083، 1113
الاستقلاب: 78، 173، 186، 242 ـ 245، 247، 249، 262، 265، 271، 277، 292، 304 ـ 305، 311 ـ 314، 317 ـ 320، 322، 328، 352 ـ 353، 395، 452 ـ 453، 464، 683، 730، 734، 810
الأسواط: 243، 260 ـ 261، 281، 283، 286، 291 ـ 293
أشباه اللافلزات: 116
الاشتعال: 56، 122، 134، 183، 639، 641، 661 ـ 665، 1059، 1078، 1082، 1090، 1110
الاشتعال الحراري: 662، 664
الاشتعال اللهبية المباشرة: 663
الأشعة فوق البنفسجية: 35، 141، 182، 184، 201، 447 ـ 448، 492، 543، 554، 591، 616 ـ 617، 881
إعادة الاستخدام: 64، 214، 396، 687،

1031، 1108، 1110
أكوام النفايات: 161، 1056، 1103 ـ 1105، 1118، 1122 ـ 1123
إلكترون: 109 ـ 110، 118 ـ 122، 135 ـ 136، 154، 179 ـ 180، 207، 242، 244، 246، 259، 314 ـ 315، 317 ـ 320، 455، 481، 489 ـ 490، 635، 655، 732، 1055
الأمونيا: 82، 139، 679
الأنتروبيا: 75، 90، 914، 1067
الإنزيمات: 242، 244، 246 ـ 247، 259، 262، 277، 300، 303 ـ 311، 314 ـ 315، 324، 326، 328 ـ 329، 353، 395
الإنقلاب الإنخسافي: 571، 580
إنقلابات درجة الحرارة: 576، 579
الأوكسجين: 37 ـ 38، 45، 77 ـ 78، 80، 82، 84 ـ 85، 114 ـ 118، 120، 122 ـ 123، 126، 135، 139 ـ 140، 146، 151 ـ 152، 176، 178، 181 ـ 183، 191، 197 ـ 198، 206 ـ 207، 213، 222، 242، 244، 256، 263، 267، 270، 278، 281، 284، 295 ـ 297، 299 ـ 303، 314، 318 ـ 319، 322 ـ 323، 327، 335 ـ 336، 338، 358، 364 ـ 366، 368، 389، 391، 394 ـ 395، 437، 439 ـ 440، 446 ـ 447، 461 ـ 463، 471، 473 ـ 474، 488، 492 ـ 493، 496، 519، 548 ـ 550، 552 ـ 553، 591، 616، 618، 661، 683، 685، 714، 725 ـ 728، 730 ـ 731، 734، 745 ـ 746، 748، 759، 765، 777 ـ 779، 792، 794، 803 ـ 804، 811 ـ 813، 817، 836، 856، 885، 889، 1010 ـ 1011، 1014، 1018، 1112
الأيونات: 108، 120 ـ 122، 141، 143، 149، 163 ـ 165، 168، 179 ـ 180، 189، 207، 215، 224، 236، 261 ـ 262، 323، 333، 356، 521، 933

ـ ب ـ

باستير، لويس: 338
البحر الميت: 771 ـ 774
البحيرات: 36، 104، 132، 171، 197، 210، 228، 278، 399 ـ 400، 427، 444، 452، 460 ـ 462، 464، 467، 472 ـ 473، 548، 575، 578 ـ 579، 588، 593، 612، 614، 687 ـ 689، 691 ـ 693، 703، 728، 744 ـ 745، 747، 752 ـ 755، 757، 760، 764 ـ 767، 769 ـ 772، 774 ـ 775، 781، 792، 794 ـ 795، 812، 823 ـ 825، 836، 844، 856، 858، 860 ـ 863، 866 ـ 867، 875، 881، 951، 961، 969، 1112، 1119
برامج الاعتيان: 411
البركة: 38، 69، 285، 742 ـ 743، 749، 755، 757 ـ 765، 791، 794 ـ 795، 823، 845
البروتوزوا: 242، 244، 246، 249، 251 ـ 252، 256، 290 ـ 300، 331 ـ

332، 339، 341، 347 ـ 349، 353،
683 ـ 685، 712، 729 ـ 730، 732،
811، 817، 859
بـروتـون: 112، 115، 118 ـ 119، 131،
157، 161، 174، 215 ـ 216
بريسلو، رونالد: 305
البلاستيك: 31
بنيان، بول: 27
بوستيل، ساندرا: 402

ـ ت ـ

التـآكـل: 167، 212 ـ 213، 218، 893،
904، 916، 924 ـ 925، 964 ـ 965،
975، 982، 991 ـ 992، 1040
التحكم في إنبعاثات علبة المرافق: 628،
668
التحلل الإسموزي: 261
التحلل الجلكوزي: 244، 317
التحليل الكمي: 34
التخمين: 35، 193، 1066
التدهور البيئي: 29، 49، 58، 64، 442،
799
الـتـرب: 19 ـ 23، 27، 30، 32، 34 ـ
37، 49 ـ 50، 57 ـ 58، 66، 77،
82، 104، 134، 137، 157، 170،
189، 192، 197، 200، 204، 208 ـ
210، 213 ـ 237، 239 ـ 240، 255،
257، 285، 289، 304، 308، 337،
340، 359، 369 ـ 370، 375 ـ 381،
383 ـ 400، 402 ـ 403، 405 ـ 408،
412، 426 ـ 432، 438 ـ 439، 441،
445، 460، 467 ـ 468، 474 ـ 480،
490، 521، 531، 548، 550، 575،
593، 613 ـ 614، 632، 680، 682،
687، 693، 695 ـ 699، 706، 709 ـ
711، 715 ـ 718، 741، 744، 753،
757 ـ 758، 768 ـ 769، 787، 818،
820، 829، 844 ـ 845، 855 ـ 856،
863 ـ 864، 867، 873، 876، 891 ـ
892، 896 ـ 900، 909 ـ 911، 916 ـ
929، 931 ـ 933، 937، 939 ـ 940،
943 ـ 966، 968 ـ 970، 973 ـ 976،
978 ـ 980، 993، 997 ـ 1004، 1006
ـ 1012، 1014، 1016 ـ 1017، 1021
ـ 1027، 1029 ـ 1035، 1037 ـ
1038، 1041 ـ 1043، 1065، 1068،
1077، 1083، 1111 ـ 1112، 1118،
1121
التربات المالحة: 216، 231، 236
الـتـربـة: 19 ـ 23، 27، 30، 32، 34 ـ
37، 49 ـ 50، 57 ـ 58، 66، 77،
82، 104، 134، 137، 157، 170،
189، 192، 197، 200، 208 ـ 210،
213 ـ 237، 240، 255، 257، 285،
289، 304، 337، 340، 359، 369 ـ
370، 375 ـ 379، 381، 383 ـ 400،
402 ـ 403، 405 ـ 408، 412، 426 ـ
432، 438 ـ 439، 441، 445، 460،
467، 474، 476 ـ 480، 490، 521،
548، 550، 575، 593، 613 ـ 614،
632، 680، 682، 687، 693، 695 ـ
699، 706، 709 ـ 711، 716 ـ 718،

741، 753، 757 ـ 758، 768 ـ 769، 787، 818، 820، 829، 844 ـ 845، 855 ـ 856، 863 ـ 864، 867، 873، 876، 891 ـ 892، 896 ـ 900، 909 ـ 911، 916 ـ 925، 927 ـ 929، 931 ـ 933، 937، 939 ـ 940، 943 ـ 966، 968 ـ 970، 973 ـ 976، 978 ـ 980، 993، 997 ـ 1004، 1006 ـ 1011، 1014، 1017، 1022 ـ 1027، 1029 ـ 1034، 1037 ـ 1038، 1041 ـ 1043، 1065، 1068، 1077، 1083، 1111 ـ 1112، 1118، 1121

الترسب الحمضي: 439، 458 ـ 461، 481

ترسيب الملوث: 225، 236

التركيز: 30 ـ 31، 94، 100 ـ 101، 104، 111، 128، 131 ـ 132، 137، 143، 147 ـ 148، 152، 155 ـ 156، 161، 165، 173، 175، 182، 186، 188، 190، 192، 206 ـ 207، 225، 232، 248، 260، 268، 287، 297، 309 ـ 311، 324، 331، 334، 338، 356، 362، 364 ـ 365، 369 ـ 370، 373، 392، 409، 426، 428، 431، 446 ـ 448، 454، 463، 492، 514، 521، 533، 550، 554 ـ 557، 561، 575، 580، 585، 591، 614، 639، 653، 664، 716، 721 ـ 723، 726، 741، 752، 811، 814، 836، 855، 884، 958، 1008 ـ 1009، 1011 ـ 1012، 1050، 1062، 1086، 1090، 1096، 1112، 1116، 1118

تركيز الإنزيم: 309 ـ 310

التشريعات البيئية: 379، 1118

تطبيقات المعرفة: 40

تطورات التقانة: 22، 28، 31، 65، 67، 441، 445، 513

التطورات التقانية: 30 ـ 31، 65

التعفير: 580

التغذية اللاهوائية: 85

التغيرات الموسمية: 604

تفاعلات الغلاف الجوي: 179، 545

التفاعلات الكيميائية: 86 ـ 87، 138، 155، 179، 188، 190، 202 ـ 204، 207، 215، 237، 265 ـ 266، 295، 305، 308، 310، 312، 314، 320، 528، 553، 555 ـ 556، 560، 566، 580، 731، 845

التفكيك الحيوي: 224 ـ 225، 236، 974، 976، 1004، 1010 ـ 1016، 1018، 1025 ـ 1027، 1043

التقانة: 19 ـ 23، 28، 30 ـ 31، 34 ـ 35، 48 ـ 50، 59، 63، 65 ـ 70، 435، 437 ـ 438، 441 ـ 445، 480 ـ 481، 486، 513، 1107

التكثيف: 626، 651، 653، 659 ـ 660، 1111

التلوث: 28 ـ 29، 45 ـ 47، 50، 63، 65، 67 ـ 68، 98، 125، 146، 160، 163 ـ 164، 172 ـ 173، 178، 190، 199، 208 ـ 209، 212 ـ 214، 224 ـ 225، 227 ـ 231، 233 ـ 235، 237، 240، 247، 255، 289، 296 ـ

297، 303، 337، 344، 357، 359،
364 ـ 370، 373، 379، 388، 398،
401، 405، 408، 415 ـ 419، 424 ـ
426، 428 ـ 430، 437 ـ 440، 444 ـ
445، 449، 452، 455 ـ 457، 461 ـ
462، 470، 472 ـ 480، 490، 516 ـ
517، 525، 540 ـ 541، 545، 554،
558 ـ 559، 562 ـ 564، 570 ـ 571،
573، 575، 579 ـ 580، 583 ـ 584،
588، 596، 605، 613 ـ 614، 625،
627 ـ 628، 630 ـ 631، 636 ـ 638،
651، 659، 661، 668، 687، 693،
706، 711، 727، 733، 736، 750 ـ
752، 758، 765، 767، 792، 797 ـ
798، 801 ـ 803، 805 ـ 806، 813،
817، 819، 822، 825، 827 ـ 832،
834 ـ 837، 839 ـ 844، 851 ـ 852،
856 ـ 861، 864 ـ 865، 867، 870 ـ
871، 873 ـ 874، 877 ـ 879، 887،
889 ـ 892، 894 ـ 895، 898 ـ 899،
901، 904 ـ 905، 943، 945 ـ 946،
948 ـ 952، 954 ـ 956، 959 ـ 970،
973، 980 ـ 981، 992، 1002،
1019، 1021، 1023 ـ 1025، 1037

تنظيم النمو السكاني: 38

التنفس: 80، 177 ـ 178، 183، 197،
201، 203، 206، 242، 244، 254،
288، 318 ـ 320، 324، 340، 356،
394، 456 ـ 458، 516 ـ 517، 543،
545، 552، 562 ـ 563، 587، 617،
763، 793، 857، 889، 1089

توماس، لويس: 269، 338

- ج -

الجزيئات: 113، 117، 120 ـ 121، 124،
126، 135، 141، 143، 148 ـ 149،
176 ـ 177، 179 ـ 180، 188، 207،
298، 321 ـ 322، 491، 494، 501،
503، 560، 707، 723

جزئيات طفيلية: 268

جستس، أوبري: 241

الجوانب الإجتماعية والثقافية للبيئة: 33

الجوانب الفيزيائية الصلبة: 33

- ح -

حالة حركة دائمة: 502، 702

الحدائق الدفيئة: 599

الحرارة النوعية: 111، 124، 129 ـ 130

حسان، مارغريت: 345

الحمام الرحال: 28، 52 ـ 54، 71

- خ -

الخصائص الكيميائية للماء: 715

الخلايا: 81، 97، 164، 184، 249، 251
ـ 253، 257 ـ 258، 263 ـ 265،
268، 276، 280 ـ 281، 283 ـ 285،
301، 312، 314، 316، 322، 324 ـ
327، 334، 351 ـ 352، 362، 391،
510، 679، 681، 710، 730 ـ 731،
733 ـ 734

الخواص الحرارية: 107، 109، 128 ـ 129

الخواص الفيزيائية: 115، 117، 124 ـ
125، 181 ـ 182، 184، 186، 188،

214، 218، 428، 496، 684، 689، 707، 957، 1117

- د -

دجاج أتواتر: 28، 52، 56 ـ 57
دجاج هيث: 28، 51 ـ 52، 54 ـ 56، 71
درجة الإضطراب: 576
درجة حرارة: 45، 47، 96، 98 ـ 99، 102، 104، 115، 120، 122، 126 ـ 127، 129 ـ 130، 137، 142، 145 ـ 147، 152، 159، 182، 193، 198، 310، 325، 328 ـ 330، 338، 446، 479، 488، 495 ـ 496، 501 ـ 502، 527، 532، 549، 571، 577، 593، 597، 601 ـ 602، 604، 606، 660 ـ 661، 664، 667، 669، 708، 714 ـ 715، 725، 757، 771، 776 ـ 779، 792، 810، 884 ـ 885، 889، 1034، 1082، 1111، 1116
درجة المقاومة: 94، 341
الدورات الجيوكيميائية الحيوية: 28، 36، 76، 78، 103
الدورات الرسوبية: 37، 77
الدورات الغازية: 36، 77
الدورات الكيميائية: 76
دورة كربس: 242، 244 ـ 245، 317 ـ 318، 321، 352
الدورة المائية: 36، 77، 377، 379، 399، 680 ـ 682، 698، 736، 754، 780، 822 ـ 824
ديبسو، جيم: 559، 562
الديدان: 220، 244، 252، 256، 295، 303، 341، 347 ـ 348، 365 ـ 366، 369، 385، 683 ـ 684، 729، 732 ـ 733، 758، 764، 811، 855، 925، 927 ـ 928

- ذ -

الذوبانية: 125، 145 ـ 146، 158، 205، 428، 1009

- ر -

الرأسمالية: 48، 71، 975، 1041
الرسوبيات: 169، 438 ـ 439، 462 ـ 463، 467 ـ 468، 471 ـ 472، 698، 759 ـ 760، 765 ـ 766، 779، 798، 810، 830 ـ 831، 881، 929، 964، 970
الرطوبة النسبية: 333، 511، 523، 532
الروابط الأيونية: 108، 121 ـ 122
الروابط الكيميائية: 108، 116، 121، 238

- س -

السايتوكرومات: 320
سبونيك، هانز فون: 345
سمك السلمون: 41 ـ 45، 47، 70
سميث، آري هاغان: 615
سوليفان، إميت: 559
سيماء التربة: 377، 391

- ش -

الشركات متعددة الجنسيات: 68

شيفر، فينسنت: 190

ـ ص ـ

الصخور الرسوبية: 380، 1119

الصخور المتحللة: 36

الصيغ الكيميائية: 123

ـ ض ـ

الضبخان الكيميائي الجوي: 596

ـ ط ـ

طاقة الشمس الإشعاعية: 89

الطاقة الكهروستاتيكية: 646

الطاقة الكهرومائية: 43

الطاقة النووية: 31، 85، 472، 475، 962

الطحالب: 21، 82، 84، 91، 132، 139، 155، 242 ـ 243، 249، 252، 278 ـ 288، 290، 293، 302 ـ 303، 316، 329، 331 ـ 332، 365، 418، 422، 461، 473، 490، 529، 680، 684، 712، 714، 726 ـ 727، 729 ـ 730، 733 ـ 734، 758، 811، 817، 855، 916 ـ 917، 930

الطقس: 54، 426، 442، 485، 487، 489، 495، 502، 511، 517، 521 ـ 525، 527 ـ 528، 530، 535 ـ 537، 570 ـ 571، 574 ـ 575، 578، 583، 588، 680، 1122

الطوبوغرافية: 573، 578 ـ 579

الطور اللوغاريثمي: 326 ـ 327

طور الموت: 326 ـ 327

ـ ظ ـ

ظاهرة الحفز: 305

ـ ع ـ

عالم السموم البيئي: 363

العسر: 157 ـ 158، 161 ـ 162، 683 ـ 684، 703، 716، 718 ـ 722، 882، 904

علم الإرصاد الجوية: 521، 527، 588

علم الأرض: 19 ـ 20، 379

علم البيئة: 19 ـ 23، 27 ـ 33، 35، 37، 39 ـ 40، 48، 69، 73 ـ 74، 86، 93 ـ 94، 98، 100 ـ 101، 103، 109، 112، 116، 128، 132، 134، 138، 214، 237، 239، 241 ـ 243، 247 ـ 249، 269، 271، 273، 278، 288، 311، 314، 355، 358 ـ 359، 379، 398، 401، 491، 527، 564، 728، 816، 968، 1053، 1107

علم الجيولوجيا: 379

علم الحياة: 248

علم الطبيعة: 37

علم المحيط: 29، 32، 37، 39، 108، 112، 248، 352، 377، 405

علم المياه العذبة: 711، 745، 749، 755، 765

عملية الإدمصاص: 225، 655، 657، 673

عملية التخليق الضوئي: 80، 91، 141، 181، 186، 254، 266، 278، 280، 290، 316، 468، 730، 734

عملية تدوير المواد الخام: 396
العولمة: 28، 68، 619
عينات بيئية: 409
العينة المركبة: 413

- غ -

الغاز الطبيعي: 50، 58، 80، 137، 445، 465، 963
الغازات: 35 ـ 36، 74 ـ 75، 100 ـ 102، 113، 119 ـ 120، 126 ـ 127، 145 ـ 146، 150 ـ 152، 160، 176، 178، 185، 188، 190 ـ 193، 195، 202، 212، 229، 380، 394، 413، 447، 485، 487، 490، 492 ـ 494، 496، 500، 502، 505، 522، 539، 543، 552 ـ 554، 556، 580، 584، 591 ـ 592، 599 ـ 601، 605، 628، 630، 642 ـ 643، 646 ـ 647، 649 ـ 656، 659 ـ 660، 662 ـ 663، 665 ـ 668، 670، 706، 708، 711 ـ 712، 714، 717، 732، 885، 952، 970، 1078، 1113، 1119
الغسيل الهيدروليكي: 300
الغلاف الأرضي: 29، 36، 962
الغلاف الجوي: 28، 35 ـ 37، 74، 77 ـ 78، 80 ـ 81، 89، 100، 115، 117، 127، 163 ـ 164، 166، 175 ـ 183، 185 ـ 202، 204 ـ 207، 239، 376، 379، 396، 399، 437، 447 ـ 450، 458، 481، 487 ـ 488، 490 ـ 505، 507، 516 ـ 519، 543 ـ 557، 561، 565، 580 ـ 581، 583، 591، 595، 599 ـ 605، 613، 616، 618، 692 ـ 693، 703، 706، 717 ـ 718، 727
الغلاف الحيوي: 29، 35 ـ 37، 41، 73 ـ 74، 178، 185، 734
الغلاف المائي: 29، 35 ـ 36، 77 ـ 78، 377، 379

- ف -

الفسفور: 37، 73، 75، 77 ـ 79، 83 ـ 84، 104 ـ 105، 116، 182، 278، 324، 388، 395، 726 ـ 728، 737، 759، 765، 770، 824، 858، 860، 886، 889، 1011
الفطريات: 38، 166، 220، 242 ـ 245، 249، 270 ـ 278، 280، 282، 289، 295، 329، 331 ـ 332، 339، 347، 352 ـ 353، 385، 490، 683 ـ 684، 729، 733 ـ 734، 764، 852، 925، 927، 931، 957
الفلزات: 111، 115 ـ 116، 120 ـ 121، 131، 152، 163، 166 ـ 167، 175، 722 ـ 723
الفلوريد: 124، 683، 716، 721 ـ 722، 737
فولر، فريدريك: 134
الفيتامينات: 113

- ق -

القانون الدوري: 108، 111، 119
القشريات: 38، 244، 246، 252، 302 ـ

303، 683 ـ 685، 729، 733، 811، 817

القلوية: 109، 119، 152، 157 ـ 158، 160 ـ 161، 174، 216، 332 ـ 333، 684، 882، 885

ـ ك ـ

كارسون، ريشيل: 442، 1076، 1095، 1099

الكائنات الحية: 29 ـ 30، 32، 36 ـ 37، 76 ـ 78، 80 ـ 81، 83، 85، 90، 105، 134، 152 ـ 153، 156، 159، 168، 170، 191 ـ 192، 213، 215 ـ 216، 220، 225، 229 ـ 230، 244، 248 ـ 252، 255 ـ 256، 261، 264، 267، 271، 274، 279، 282، 285، 290، 292، 295، 298، 300 ـ 301، 303 ـ 305، 313 ـ 314، 319 ـ 325، 327 ـ 330، 332 ـ 333، 335 ـ 336، 338 ـ 339، 348، 352 ـ 353، 358، 363 ـ 367، 369 ـ 370، 375 ـ 376، 378، 381، 384، 392، 394، 397، 402، 413، 427، 444، 447، 455، 464، 468، 474، 485، 490 ـ 493، 518، 529 ـ 530، 537، 550، 554، 562، 614، 679، 683 ـ 684، 693، 698، 706، 708 ـ 710، 713، 718، 723، 725 ـ 726، 729 ـ 734، 746، 759 ـ 761، 765 ـ 766، 769 ـ 770، 774، 776، 791 ـ 795، 811، 813 ـ 814، 816 ـ 817، 825، 835 ـ 836، 852، 859، 863، 867، 881 ـ 882، 888 ـ 889، 922، 925، 933، 951 ـ 952، 954، 958، 962، 965، 1001، 1013، 1090، 1112

الكبريت: 37 ـ 38، 73، 75، 77 ـ 79، 84 ـ 86، 116، 123، 139، 154، 164، 177 ـ 178، 182، 187 ـ 188، 195 ـ 200، 206، 213، 228 ـ 230، 238، 265، 324، 395، 437 ـ 438، 440، 445، 448 ـ 449، 458 ـ 460، 480 ـ 481، 517، 540 ـ 541، 543 ـ 551، 561، 563، 566، 569، 613، 615، 637، 651، 653، 665، 672، 713، 719، 726، 772، 844 ـ 845، 857، 902، 951 ـ 952، 954، 965، 1081

الكربون: 36 ـ 38، 73 ـ 74، 77 ـ 81، 87، 89، 103 ـ 104، 114، 116، 126 ـ 127، 133، 135 ـ 136، 139، 143، 151 ـ 154، 157، 161 ـ 163، 165، 169 ـ 170، 176 ـ 178، 181، 183، 185 ـ 187، 189، 191 ـ 193، 199 ـ 201، 204 ـ 207، 228 ـ 229، 266، 271، 277، 280، 282 ـ 284، 318 ـ 324، 339، 394 ـ 396، 408، 438، 444 ـ 446، 453، 461، 480، 488، 492 ـ 493، 496، 502، 517، 530، 539 ـ 546، 550 ـ 551، 553، 557، 565 ـ 566، 580، 594، 600، 605، 613، 617 ـ 618، 629، 651، 653، 657، 661، 667 ـ 668، 670،

679، 685، 713، 717 ـ 720، 723، 726 ـ 727، 730 ـ 731، 734، 811، 857، 872، 881، 885، 888، 900 ـ 902، 931، 951 ـ 952، 1006، 1010، 1012، 1084، 1103 ـ 1104، 1111 ـ 1113، 1115، 1128
الكشط: 376، 381 ـ 382
كلر، هلين: 521
كوخ، روبرت: 338
كوريوليس، جاسبارد: 507
كومونر، باري: 442
كيل، جيوف: 344
الكيمياء: 19، 23، 107 ـ 109، 112 ـ 113، 120، 130، 133 ـ 134، 137 ـ 138، 142، 176، 188، 237، 239 ـ 240، 247 ـ 248، 271، 308، 314، 352 ـ 353، 358، 377، 405، 707، 1067
الكيمياء العضوية: 107، 109، 133 ـ 134، 352
كيمياء المحيط: 107، 137

ـ ل ـ

اللافلزات: 111، 115 ـ 116، 120 ـ 121، 135
لاقم البكتريا: 245، 269 ـ 270
لاهوائي: 85، 167، 170، 191، 204، 244، 248، 267، 317، 335، 339، 352، 463، 550، 725، 730، 812، 1104، 1112 ـ 1113
لفينهوك، فان: 338
اللوغاريثمية: 156، 327
لينوس، كارلوس: 249
ليوبولد، آلدو: 442

ـ م ـ

الماء: 19 ـ 21، 23، 30 ـ 36، 38 ـ 41، 43 ـ 47، 49 ـ 50، 54، 57 ـ 59، 64 ـ 67، 69 ـ 70، 78 ـ 79، 83، 89 ـ 90، 94 ـ 95، 98 ـ 101، 114، 116 ـ 117، 119، 121 ـ 131، 133 ـ 134، 137 ـ 142، 145 ـ 164، 167 ـ 168، 171، 173 ـ 176، 178، 181، 185 ـ 186، 190، 192 ـ 194، 198، 200، 204 ـ 206، 208 ـ 214، 217، 219 ـ 224، 227، 229 ـ 230، 232، 234 ـ 238، 240، 242، 244، 247 ـ 249، 255، 259، 262 ـ 263، 265، 269، 280 ـ 281، 284، 287 ـ 288، 291، 304 ـ 305، 311، 319، 322 ـ 323، 333 ـ 335، 337 ـ 339، 342، 349، 352، 359 ـ 361، 363 ـ 366، 368، 370 ـ 371، 377 ـ 379، 381 ـ 385، 389 ـ 392، 395 ـ 400، 402 ـ 403، 406 ـ 407، 412، 416 ـ 417، 419 ـ 421، 423 ـ 424، 426 ـ 428، 436، 438، 440 ـ 442، 444 ـ 445، 447، 451، 454، 459 ـ 460، 462 ـ 464، 468 ـ 469، 472، 474، 476، 480، 485 ـ 486، 489 ـ 490، 492 ـ 494، 496، 499، 502، 524، 527، 529 ـ 532، 546، 548 ـ 549، 555،

561، 573، 575، 579 ـ 580، 591 ـ
592، 600 ـ 604، 611، 614، 616 ـ
617، 619، 631، 647، 660 ـ 661،
670 ـ 671، 673المادة العضوية: 82،
84 ـ 85، 153، 198 ـ 199، 208،
215 ـ 216، 220، 224، 235، 256،
265، 271، 277، 291، 295، 303،
340، 384 ـ 385، 388، 390 ـ 392،
402، 463، 548، 613، 683، 708،
723 ـ 725، 727، 730، 732، 734،
746، 778، 793، 810 ـ 811، 813 ـ
814، 856، 888، 910، 918، 923،
925، 932، 940، 959
المادة النقية: 114
مالون، ماري: 337
المبيدات الحشرية: 22، 32، 46، 232،
248، 355 ـ 356، 427، 453، 458،
462، 465، 467، 474، 852، 957،
1077، 1087، 1094
مثبطات الإنزيمات: 310
المحاليل السائلة: 140
محرك الإحتراق الداخلي: 31
محولات حفزية: 669
المراقبة: 363، 366 ـ 368، 370، 377،
407 ـ 408، 411 ـ 412، 426، 430 ـ
431، 489 ـ 490، 877، 894،
1001، 1121
المركبات العضوية: 38، 80، 84، 109،
133 ـ 136، 153، 168 ـ 170، 175،
193، 205، 207، 225، 234، 238،
266، 304، 316 ـ 317، 322 ـ 324،
395، 444 ـ 445، 447، 479، 540 ـ
541، 543 ـ 545، 551 ـ 552، 566،
616، 667، 710 ـ 711، 713، 724 ـ
725، 731، 902، 961، 1006 ـ
1007، 1112
المركبات الكيميائية: 113، 122، 139،
300، 320، 455، 718، 730، 1086
المسامات الماكروية: 220
المسامات الميكروية: 220
المستهلكات: 38، 75، 79، 91، 105،
397
مستودع الغازات: 35، 178
مصادر التلوّث المائي: 461، 830
المصادر الزراعية العضوية: 851
المصباح الضوئي: 31
المطر الحمضي: 22، 32، 34، 66، 112،
176 ـ 177، 197، 199 ـ 201، 384،
439، 449، 458 ـ 460، 481، 542،
548، 612 ـ 616، 621، 727، 827 ـ
828، 830، 862 ـ 863، 931
المعادلة الكيميائية: 123
المغذيات: 74، 76 ـ 79، 90، 92، 170،
173، 175، 220، 222، 245، 262،
265 ـ 266، 280، 287، 312، 323 ـ
324، 327 ـ 328، 333، 338، 385،
390 ـ 392، 395 ـ 396، 468 ـ 470،
472 ـ 473، 529، 683 ـ 684، 698،
716، 726، 730، 744، 759، 766 ـ
767، 779، 793، 817، 831، 835،
859، 861، 865، 889، 922، 925،
927، 943، 948، 964، 1010 ـ

1011، 1014، 1027
المغذيات الدقيقة: 323 ـ 324
المغذيات الكبيرة: 323 ـ 324
المفاهيم الأساسية لعلم البيئة: 35
المفاهيم الكيميائية الأساسية: 112
المفــكــكـــات: 29، 38، 75، 92، 105، 244، 246، 252، 293، 295، 301 ـ 302، 384 ـ 385، 397، 463، 684، 725، 729، 733، 764، 793
مكّبات النفايات الخطرة: 1124، 1126
الملاحــظــة: 35، 56، 103، 267 ـ 268، 337، 365، 442
الملـوثـات: 21، 66 ـ 67، 86، 95، 101 ـ 102، 125، 138، 150، 163 ـ 165، 168، 170 ـ 171، 175 ـ 178، 187، 191، 194 ـ 195، 199، 202 ـ 207، 223 ـ 229، 231 ـ 232، 234، 236، 239، 248، 256، 288، 359، 363 ـ 364، 369 ـ 370، 406 ـ 408، 412، 425 ـ 428، 430 ـ 432، 438 ـ 439، 441، 444 ـ 445، 447، 450، 458 ـ 459، 462، 464 ـ 467، 469، 473، 475، 481، 533 ـ 534، 536، 539، 541، 543 ـ 546، 550، 554 ـ 555، 564 ـ 565، 571، 573 ـ 578، 580 ـ 588، 595 ـ 596، 602، 613، 615، 626، 628، 639 ـ 640، 646، 651، 653 ـ 654، 657، 659، 667 ـ 668، 671، 673، 682، 687 ـ 688، 698، 703، 705 ـ 706، 709، 712، 726، 733، 746، 765، 789، 791، 794 ـ 795، 804، 811، 822، 827 ـ 829، 834 ـ 836، 842 ـ 843، 846، 858، 865، 867، 869 ـ 870، 872، 875 ـ 876، 881، 886 ـ 887، 896، 898، 900 ـ 902، 905، 944 ـ 945، 947، 949 ـ 952، 955 ـ 956، 958، 960 ـ 961، 964، 969، 981، 1010، 1012، 1016، 1019، 1022 ـ 1026، 1032، 1034 ـ 1035، 1037، 1044، 1054، 1081، 1083 ـ 1084، 1111 ـ 1112، 1123
المنـــاخ: 23، 81، 89، 105، 186، 239، 381، 386 ـ 387، 487، 489، 499، 501، 516، 522 ـ 527، 537، 557، 582، 591، 597، 599، 606 ـ 608، 611، 620، 722، 751، 783 ـ 784، 857، 915، 921، 931، 956، 1090
المنتِجات: 38، 50، 66، 75، 91، 104 ـ 105، 169، 209، 211، 213، 228، 230، 232، 305، 370، 397، 444، 452، 464، 712، 733، 855، 891، 900، 946، 951، 954، 958، 961، 1000، 1003، 1023، 1031، 1060، 1073، 1086 ـ 1087، 1090، 1108
منحنى النمو البكتيري: 325
المنــطـــق: 35، 41 ـ 42، 55، 65، 86 ـ 87، 134، 180، 190، 213، 228، 263، 297، 350، 365، 371، 387، 400، 417، 429 ـ 430، 469، 495 ـ 496، 506، 527، 534، 578، 585، 599، 657، 689، 694 ـ 695، 737،

741، 747، 760 ـ 761، 763 ـ 764، 772، 813، 817، 820 ـ 821، 831 ـ 832، 838 ـ 839، 861، 916، 918، 931، 935، 940، 965، 986، 1006، 1009، 1011، 1027، 1089

مواد إستقلابية: 78

المواد الخطرة: 128، 132، 227، 239، 401، 440، 445، 462، 464، 893، 950، 997، 1071 ـ 1073، 1076، 1078 ـ 1079، 1081 ـ 1083، 1091، 1094، 1096، 1100، 1107

المواد الصلبة المذابة: 150 ـ 151، 686، 709 ـ 710، 716 ـ 717، 719

المواد العضوية: 36، 38، 114، 134، 142، 164، 168، 187، 191، 195، 206، 218، 220، 233، 242، 266، 271، 285، 290، 303 ـ 304، 313، 316، 365، 381، 385، 389، 462 ـ 463، 474، 547، 653، 657، 684، 689، 696، 706، 710، 712، 714، 716 ـ 718، 724 ـ 725، 728، 731، 765 ـ 766، 830، 888، 897 ـ 898، 901 ـ 902، 922، 925، 959، 1018، 1033 ـ 1034، 1110، 1112، 1115 ـ 1116

المواد الغروية: 148 ـ 149، 708 ـ 709

المواد غير العضوية: 114، 154، 168، 278، 313، 708، 901، 1018

المواد المشعة: 233، 439، 462، 475، 1079

الموارد غير المتجددة: 28، 50، 63

الموارد المتجددة: 29، 38، 50 ـ 51، 381

المؤشر الحيوي: 357 ـ 358، 364 ـ 367، 369، 373

المياه الجوفية: 22 ـ 23، 36، 49، 112، 209، 212، 221، 223، 225 ـ 229، 231 ـ 232، 234، 237، 337، 343 ـ 344، 359، 375 ـ 377، 379 ـ 380، 398 ـ 403، 405 ـ 408، 427 ـ 431، 440، 461، 464، 474، 479 ـ 480، 607 ـ 608، 610، 681 ـ 682، 684، 692 ـ 694، 697، 701 ـ 703، 707، 709، 711، 713، 715، 721 ـ 722، 729، 735 ـ 736، 744، 746 ـ 748، 750، 752 ـ 754، 772، 781، 791، 818 ـ 823، 825، 828، 830، 832، 837، 840، 842، 844 ـ 845، 849 ـ 850، 852، 858، 860، 863 ـ 866، 870، 872، 876، 879 ـ 881، 883، 891 ـ 892، 894، 896 ـ 897، 899 ـ 905، 950 ـ 951، 953 ـ 958، 970، 974 ـ 975، 980، 990، 1000، 1003، 1011 ـ 1012، 1016، 1023 ـ 1025، 1041 ـ 1042، 1083، 1096، 1098، 1116، 1119 ـ 1121، 1126 ـ 1127

المياه السطحية: 213، 227 ـ 228، 231، 289، 291، 303، 337، 349، 359، 399، 461، 465، 468، 472، 474، 479، 528، 539، 682، 684 ـ 685، 688، 692 ـ 694، 702 ـ 703، 709، 714 ـ 715، 721 ـ 722، 724، 727 ـ

729، 732 ـ 733، 735 ـ 736، 747،
750، 753 ـ 755، 769، 787، 819،
827، 829 ـ 830، 832، 843 ـ 845،
849، 851، 864، 878، 880 ـ 881،
903، 949 ـ 950، 956، 1065، 1123
ميكروب الفستريا: 247
الميكروبات: 197، 249، 251 ـ 253،
267، 270، 288، 312 ـ 314، 322 ـ
323، 325، 329 ـ 333، 335 ـ 336،
338، 340، 352 ـ 353، 517، 732 ـ
733

ـ ن ـ

ناجي، توم: 347
النتروجين: 73 ـ 74، 77 ـ 79، 81 ـ 83،
115، 132، 167، 184، 197 ـ 200،
202 ـ 203، 228 ـ 229، 259، 277 ـ
278، 287، 292، 300، 323، 388،
395، 493، 540 ـ 546، 548 ـ 549،
551 ـ 552، 555 ـ 556، 563، 566،
600، 613، 615 ـ 617، 651، 653،
663، 727 ـ 728، 770، 858، 860،
885 ـ 886، 889، 927، 947، 951 ـ
952، 957، 1011
النشادر: 82، 159، 168، 174، 323،
653، 712، 856، 886
نضوب الأوزون في طبقة الستراتوسفير:
593، 596، 617
النظام البيئي: 23، 37، 39، 74، 76 ـ
78، 85، 90 ـ 92، 104، 134،
200، 460، 561، 595، 613، 856،
890، 926
نظام نقل الإلكترون: 242، 244، 246،
317، 319 ـ 320
نظرية الإحترار الكوني: 601
النفاد: 425 ـ 426، 512، 617
النفايات العضوية: 175، 364، 396،
462، 474، 696، 796، 813، 816،
1113
النفايات المسببة للأمراض: 462 ـ 463
نموذج باسكويل-جيفورد: 587
نوع العينة: 412
النيتروجين: 37 ـ 38، 81، 84، 103،
120، 126 ـ 127، 151، 176، 178،
183 ـ 185، 187، 197، 204 ـ 207،
221، 323 ـ 324، 438، 444 ـ 445،
447، 459 ـ 460، 469 ـ 471، 473 ـ
474، 492، 519، 555، 667، 726،
737، 885 ـ 886، 1113

ـ هـ ـ

هاربر، سكوت: 241
الهايدروكربونات: 109، 136 ـ 137،
202، 204 ـ 205، 207، 210، 546،
555 ـ 556، 616، 670، 959 ـ 960
الهايدروكربونات الأروماتية: 136 ـ 137،
204، 616
الهايدروكربونات الأليفاتية: 136
الهواء: 19 ـ 21، 23، 28، 30 ـ 36، 49
ـ 50، 62، 65 ـ 67، 80، 100 ـ
102، 104، 112، 125، 134، 137 ـ
138، 160، 168 ـ 170، 177 ـ 178،

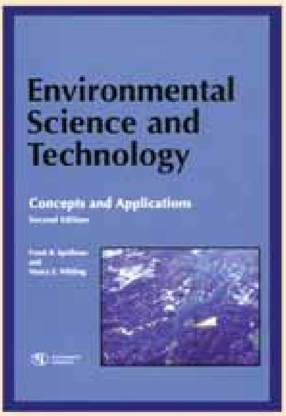
181 ـ 187، 190 ـ 193، 196 ـ 204،
206، 208 ـ 209، 211، 213 ـ 214،
220 ـ 223، 228 ـ 229، 232، 234 ـ
236، 238 ـ 239، 243، 255، 276،
280، 288 ـ 289، 304، 335، 337،
341، 359، 370، 377 ـ 381، 383،
385، 389، 391، 396 ـ 397، 399 ـ
400، 402، 406 ـ 408، 412 ـ 413،
415، 425 ـ 427، 431 ـ 432، 436 ـ
439، 441، 443 ـ 445، 448، 450 ـ
451، 457، 476، 481، 485 ـ 492،
494 ـ 495، 501 ـ 510، 516 ـ 519،
522 ـ 523، 525 ـ 528، 531 ـ 537،
540 ـ 549، 551 ـ 555، 557، 559 ـ
566، 569 ـ 588، 592، 595 ـ 596،
599 ـ 600، 604، 613 ـ 614، 617،
620 ـ 621، 625 ـ 626، 628، 630 ـ
631، 637 ـ 641، 643 ـ 645، 648،
651، 653 ـ 654، 657 ـ 661، 663 ـ
665، 667 ـ 673، 681، 687، 715،
731 ـ 732، 734، 757، 776، 778 ـ
780، 817، 820، 829، 831، 844،
857، 863 ـ 864، 872، 888، 890 ـ
891، 901، 922، 943، 947، 950 ـ
952، 958، 962 ـ 963، 965، 968،
988، 999، 1005 ـ 1006، 1008
الـهـوائـي: 74، 82، 85 ـ 86، 95، 167،
170، 188، 191، 204، 229، 244،
248، 254، 267، 270، 295، 300 ـ
302، 317 ـ 319، 327، 335، 339،
352، 378، 444، 463، 514، 517،
523، 531 ـ 532، 534، 542 ـ 543،
550، 556، 564، 569، 573 ـ 576،
580، 586، 617، 661، 667، 685،
725، 730، 733، 759، 812، 817،
861، 888، 933، 945، 952،
1006، 1014، 1016، 1104، 1112 ـ
1113
الـهـيـدروجـين: 38، 77 ـ 78، 85، 107،
109، 111، 116 ـ 118، 120 ـ 123،
131 ـ 132، 135 ـ 137، 143 ـ 144،
154 ـ 157، 159، 161، 163، 168،
183، 199، 202 ـ 203، 214 ـ 216،
229، 236، 242، 244، 271، 275،
287، 300، 309 ـ 310، 320 ـ 321،
323 ـ 324، 328، 331 ـ 333، 338 ـ
339، 395، 403، 408، 413، 431،
459، 461، 463، 493 ـ 494، 551،
553، 593، 612 ـ 614، 653، 713،
717، 723، 725، 730، 734، 811،
857، 863، 881، 884 ـ 886، 927،
952، 1010 ـ 1011، 1014، 1027،
1083، 1113

ـ و ـ

وحدات الحجم: 98
وحدات الضغط: 100
وحدات الطول: 97
وحدات قياس الحرارة: 98
وظيفة التربة: 376، 393
ويلسون، ألكسندر: 53

علم وتقانة البيئة

المفاهيم والتطبيقات(*)



(*) الكتاب الثالث من البيئة

السلسلة: تضم هذه السلسلة ترجمة لأحدث الكتب عن التقنيات التي يحتاج إليها الوطن العربي في البحث والتطوير ونقل المعرفة إلى القارئ العربي.

الكتاب: يوظف كتاب **علم وتكنولوجيا البيئة**: مفاهيم وتطبيقات قوانين علمية، ومبادئ، ونماذج، لتوفير البنية الأساس لفهم أثر الكيميائيات والتكنولوجيا على البيئة وتقويم هذا الأثر. يحتوي هذا الكتاب على التطورات المستحدثة في تطبيق التقنيات البيئية الجديدة، واضعاً جل تركيزه على الهواء والماء والتربة وكيفية استخدام التكنولوجيا للحد من تلوثها. ولقد جعلت هذه النسخة من الكتاب أكثر سلاسة باستخدام مزيد من المصطلحات البيئوية وقليل من المصطلحات التقنية والعلمية.

تشتمل المواد التي يتضمنها الكتاب: الربط بين علوم البيئة وتكنولوجيتها، وعلى نوعية الهواء، والماء، والتربة، بالإضافة إلى أثر النفايات الصلبة الخطرة على البيئة. ويتضمن كل فصل قائمة بأهدافه وأسئلة للمناقشة، مع مسرد بالمراجع لمزيد من البحث.

المؤلفان: **فرانك ر. سبيلمان**: أستاذ الصحة البيئية المساعد، جامعة أولد دومينيان، نورفولك فيرجينيا، ألّف 47 كتاباً في مواضيع تخص حقل الهندسة البيئية.

نانسي إ. وايتنغ: كاتبة في مجال التسويق، والماء ومياه الصرف، وعلم البيئة، إضافة إلى التعليم في شركة للنشر العلمي والتكنولوجي.

المترجم: **صِدِّيق عمر الصِدِّيق**: ماجستير كيمياء من FIT، ملبورن، الولايات المتحدة الأميركية، مدرس مساعد، قسم الكيمياء جامعة الخرطوم، السودان.

سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية والمتقدّمة

1. المياه
2. البترول والغاز
3. البتروكيمياء
4. النانو
5. التقنية الحيوية
6. تقنية المعلومات
7. الإلكترونيات والاتصالات والضوئيات
8. الفضاء والطيران
9. الطاقة
10. المواد المتقدمة
11. البيئة

مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية KACST

المنظمة العربية للترجمة

الثمن: 90 دولاراً أو ما يعادلها

ISBN 978-9953-82-493-2
9 789953 824932